

Estado del arte sobre los beneficios y desafíos potenciales de la implementación del transporte electro-fluvial como estrategia para mitigar las dificultades de conectividad que enfrentan las comunidades más remotas de Colombia.

Paula Daniela Barrera Garnica y Paula Andrea Camargo Mendez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Civil

Director

Yerly Fabian Martinez Estupiñan

PhD. En Ciencias de la Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, Norma Rocío Garnica Mayorga, y a mi padre, Juan Carlos Barrera Ordoñez, quienes con su amor, esfuerzo y ejemplo me han inspirado a dar siempre lo mejor de mí.

A mi hermana, Manuela Salome Barrera Garnica, por ser una fuente de alegría y motivación constante.

A mis familiares y amigos que me han acompañado a recorrer este camino, por su apoyo incondicional y por acompañarme en cada etapa de este proceso. A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de mi vida y desarrollo profesional.

Paula Daniela Barrera Garnica

A mis padres, Yolanda Méndez García y Orlando Camargo Amado, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida.

A mi mamá, Yolanda, gracias por tu amor infinito y tu fuerza inquebrantable. Has sido mi ejemplo de resiliencia y entrega; cada consejo, abrazo y sacrificio me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Tu fe en mí ha sido mi motor y mi refugio.

A mi papá, Orlando, gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la dedicación y la perseverancia. Tu ejemplo de trabajo constante y tu apoyo incondicional han sido la base sobre la cual he construido mis sueños. Gracias por mostrarme que todo es posible con determinación y amor.

A ustedes les debo todo lo que soy y todo lo que lograré. Este proyecto es un pequeño reflejo del amor y el esfuerzo que ustedes han depositado en mí durante toda mi vida. Gracias por creer en mí, por no rendirse nunca y por ser mi mayor fuente de inspiración.

Con todo mi amor y eterna gratitud, este logro es tan suyo como mío.

Paula Andrea Camargo Mendez

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos el espacio, las herramientas y el conocimiento necesarios para nuestro desarrollo profesional y personal.

Agradecemos el compromiso de nuestros docentes, quienes, con su dedicación y experiencia, nos guiaron a lo largo de este camino, desafiándonos a crecer y a ver el mundo desde nuevas perspectivas. En especial, al profesor Yerly Martínez, por su acompañamiento y apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación. Gracias por ser un lugar de aprendizaje, de retos y de crecimiento que ha dejado una huella invaluable en nuestro recorrido.

Al grupo de investigación de Geomática y FONTUR, por la información recopilada en campo puesta a disposición para esta investigación.

A nuestros familiares, amigos y compañeros, por su apoyo y compañía en este camino, queremos expresarles nuestra más profunda gratitud. Su aliento constante, su paciencia y su confianza nos impulsaron a superar cada obstáculo y a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por estar siempre a nuestro lado, por celebrar nuestros logros y por darnos la fuerza para continuar.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Metodología	14
1.1 Revisión sistemática de la literatura	14
1.1.1 Bases de datos utilizadas.....	14
1.1.2 Palabras Clave:.....	15
1.1.3 Criterios de Inclusión y Exclusión.....	16
2. Análisis de datos estadísticos.....	24
2.1 Datos públicos.....	24
2.2 Encuestas.....	25
3. Aspectos normativos.....	27
3.1 Decretos nacionales y artículos internacionales	31
3.2 Análisis de normativas.....	31
4. Análisis de incentivos	34
4.1 Incentivos económicos y fiscales.....	35
4.2 Desarrollo de infraestructuras de carga:	35
4.3 Regulaciones ambientales:.....	35
4.4 Investigación y desarrollo (I+D).....	38
5. Transporte fluvial nacional en cifras.....	39
6. Desafíos y necesidades del transporte electro-fluvial.....	45
7. Análisis de caso.....	47
7.1 Estadística de las encuestas.....	47

7.1.1 Estados de los embarcaderos	48
7.1.2 Mantenimiento de los embarcaderos	51
7.1.3 Embarcaciones activas	52
7.1.4 Costos de transporte	53
7.1.5 Acceso a servicio públicos	54
7.1.6 Empresas de transporte fluvial	55
7.1.7 Precio del combustible	56
7.1.8 Tiempo de funcionamiento.	57
7.2 Caracterización del municipio	58
8. Propuestas de adaptación del sistema Electro-fluvial para Cicuco, Bolivar.....	61
9. Conclusiones	64
Referencias Bibliográficas	67
Apéndices.....	75

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Cantidad de artículos por buscador primera búsqueda.</i>	15
Tabla 2 <i>Reducción de artículos.</i>	19
Tabla 3 <i>Artículos elegidos.</i>	20
Tabla 4 <i>Informes gubernamentales.</i>	25
Tabla 5 <i>Coincidencias de los artículos recolectados sobre normativas.</i>	28
Tabla 6 <i>Artículos para adaptación a las normativas de Colombia de base de datos.</i>	32
Tabla 7 <i>Normativas presentes en Colombia y artículos adaptables a Colombia.</i>	33
Tabla 8 <i>Políticas actuales y posibles adaptaciones.</i>	38
Tabla 9 <i>Cuencas fluviales con sus kilometrajes navegables.</i>	40
Tabla 10 <i>Inventario de vehículos fluviales.</i>	44
Tabla 11 <i>Municipios donde se realizaron las encuestas.</i>	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Producción de artículos por año analizando todos los campos de producción</i>	16
Figura 2 <i>Artículos por país o territorio, únicamente con palabras clave</i>	17
Figura 3 <i>Artículos por categoría</i>	18
Figura 4 <i>Reducción de artículos</i>	20
Figura 5 <i>Artículos seleccionados por año de producción</i>	23
Figura 6 <i>Artículos seleccionados por región de enfoque</i>	24
Figura 7 <i>Cantidad de artículos vs. Años</i>	29
Figura 8 <i>Investigaciones por países</i>	30
Figura 9 <i>Demanda de pasajeros</i>	41
Figura 10 <i>Variación porcentual de pasajeros</i>	42
Figura 11 <i>Porcentaje de carga</i>	43
Figura 12 <i>Distribución porcentual de carga según tipo de producto</i>	44
Figura 13 <i>Estado de los embarcaderos</i>	49
Figura 14 <i>Embarcadero puerto Boyacá</i>	50
Figura 15 <i>Embarcadero Cantagallo</i>	50
Figura 16 <i>Embarcadero Betulia</i>	51
Figura 17 <i>Porcentaje de municipios con mantenimiento de embarcaderos</i>	52
Figura 18 <i>Número de embarcaciones activas por día</i>	53
Figura 19 <i>Costo del pasaje transporte fluvial</i>	54
Figura 20 <i>Acceso a servicios públicos</i>	55

Figura 21 <i>Empresas de transporte fluvial en los municipios</i>	56
Figura 22 <i>Precio de la gasolina</i>	57
Figura 23 <i>Horas de transporte</i>	58
Figura 24 <i>Ubicación Cicuco, Bolívar</i>	59
Figura 25 <i>Solar fotovoltaica flotante en Alqueva</i>	62

Lista de Apéndices

pág.

Apéndice A. Formularios de diagnóstico y conocimiento del entorno en los embarcaderos Los apéndices están adjuntos

Apéndice B. Revisión de artículos científicos y normativas. Los apéndices están adjuntos

Resumen

Título: Estado del arte sobre los beneficios y desafíos potenciales de la implementación del transporte electro-fluvial como estrategia para mitigar las dificultades de conectividad que enfrentan las comunidades más remotas de Colombia.*

Autor: Paula Daniela Barrera Garnica y Paula Andrea Camargo Mendez**

Palabras Clave: electro-fluvial, transporte, Colombia, conectividad, comunidades remotas, sostenibilidad, energía, río, embarcadero.

Descripción: En los últimos años, el mundo ha iniciado una transformación energética para generar el menor impacto medioambiental, buscando alternativas en los medios de transporte de carga y pasajeros, aplicando incentivos que animen a empresas y usuarios a poner en práctica el uso de energías renovables. Basado en esto, en este estado del arte se analizaron los principales beneficios y desafíos resultantes de un eventual proceso de implementación del transporte electro-fluvial con la finalidad de conectar las comunidades más remotas de Colombia y así poder mitigar las dificultades de conexión que se presentan en estas zonas. Tras una revisión sistemática de la literatura nacional e internacional y revisando la normativa vigente para el país en el último siglo sobre transporte eléctrico y fluvial, se pudieron identificar los principales beneficios y desafíos, mostrando un análisis de caso planteado a partir del proyecto de embarcaderos de donde se obtuvo información real y actualizada para comprender mejor la situación considerando que acciones se están tomando en el mundo y que se necesita para desarrollar el transporte eléctrico fluvial. los análisis realizados en este trabajo dejan ver que la implementación de un sistema electro-fluvial es viable y sostenible en Colombia, a pesar de los desafíos que se puedan presentar inicialmente de infraestructura y costos, pero que sin duda debe ser una política de transporte por al que se debe apostar en el país para generar conectividad y accesibilidad a comunidades lejanas que tienen al modo fluvial como su principal fuente de desplazamiento e ingreso.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabian Martinez Estupiñan. PhD. en Ciencias de la Ingeniería

Abstract

Title: State of the art on the potential benefits and challenges of implementing electro-fluvial transport as a strategy to mitigate connectivity difficulties faced by Colombia's most remote communities.*

Author(s): Paula Daniela Barrera Garnica y Paula Andrea Camargo Mendez**

Key Words: electro-fluvial, transport, Colombia, connectivity, remote communities, sustainability, energy, river, jetty.

Description: In last years, the world has begun an energy transformation to generate the least environmental impact, looking for alternatives in the means of transport of cargo and passengers, applying incentives that encourage companies and users to put into practice the use of renewable energies. Based on this, in this state of the art, the main benefits and challenges resulting from an eventual process of implementation of electro-fluvial transport were analyzed in order to connect the most remote communities in Colombia and thus be able to mitigate the connection difficulties that arise in these areas. After a systematic review of the national and international literature and reviewing the regulations in force for the country in the last century on electric and river transport, it was possible to identify the main benefits and challenges, showing a case analysis based on the jetty project from which real and updated information was obtained to better understand the situation considering what actions are being taken in the world and what is needed to develop river electric transport. The analyses carried out in this work show that the implementation of an electro-fluvial system is viable and sustainable in Colombia, despite the challenges that may initially arise in terms of infrastructure and costs, but that it must undoubtedly be a transport policy that must be committed to in the country to generate connectivity and accessibility to remote communities that have the river mode as their main source of travel and income.

* Degree Work

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Yerly Fabian Martinez Estupiñan. PhD. in Engineering Sciences

Introducción

Esta investigación tiene como principal objetivo evaluar la viabilidad dentro de los ámbitos técnicos, económicos y sociales de aplicar un sistema de transporte electro-fluvial en municipios y zonas alejadas de Colombia, tomando como caso de estudio Cicuco, Bolívar. Dentro de la su implementación se busca mitigar los problemas de conectividad que afrontan estas comunidades remotas, proporcionando a su vez una solución accesible y sostenible frente al transporte. Históricamente se ha referenciado el transporte electro-fluvial como un medio predominante en zonas rurales de Colombia, sin embargo, es un hecho que lucha con varios desafíos operativos, económicos e infraestructurales.

Se busca resolver la falta de opciones de transporte fluvial eficiente y sostenible en zonas remotas de Colombia para mejorar su movilidad, economía local y la calidad de vida de la comunidad. Se estima reducir la dependencia del combustible fósil, sus costos operativos y de la mano las emisiones de CO₂, mientras que beneficiaría a la accesibilidad e incentivarla el desarrollo económico de las zonas rurales de Colombia.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2, se presenta la revisión de la literatura relacionada con el transporte electro-fluvial. En la sección 3, se describen las metodologías empleadas para el análisis de la viabilidad del proyecto. La sección 4, detalla las encuestas realizadas y las características generales de la zona de estudio. En la sección 5, se realiza una caracterización general del transporte fluvial en la región. En la sección 6, se presentan los resultados de la evaluación técnica y económica del proyecto. Finalmente, la sección 7 expone las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones y proyectos.

1. Metodología

La metodología de búsqueda, recopilación y depuración de referencias literarias para el desarrollo de esta investigación se basó en un enfoque mixto, priorizando la combinación de métodos cualitativos y cuantitativos logrando evaluar y determinar los beneficios y principales desafíos presentes en el transporte electro-fluvial en Colombia. La metodología recoge y abarca una revisión organizada y sistemática de la literatura junto con análisis y entrevistas para datos primarios y secundarios, donde se logra obtener los datos necesarios para unos resultados y conclusiones confiables y verídicas.

1.1 Revisión sistemática de la literatura

El objetivo principal en esta etapa fue identificar estudios previos y normativas relevantes sobre el transporte electro-fluvial y tecnologías sostenibles en Colombia y el mundo.

En las siguientes secciones se detalla el procedimiento realizado.

1.1.1 Bases de datos utilizadas

La búsqueda de datos se realizó por medio de fuentes netamente confiables y verídicas tales como la base de datos de la Universidad Industrial de Santander, SCOPUS, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, ProQuest One Academic, IEEE/IEE electronic library, Springer, Taylor & Francis, entre otras.

En el análisis realizado se consideraron artículos científicos de alta calidad y revisado por pares, los cuales abarcaban una amplia gama de artículos en ciencias aplicadas, relevantes para la implementación tecnológica en el transporte.

En una primera búsqueda se usaron las palabras *electric AND fluvial AND transport*, buscando entre todos los campos de estudio para abarcar la mayor cantidad de documentos.

A continuación, se presenta el conteo total inicial de los artículos encontrados para cada buscador sin aplicar ningún tipo de filtro especial nada más que utilizar la palabra electro-fluvial en inglés y en español.

Tabla 1

Cantidad de artículos por buscador primera búsqueda.

Buscador	Artículos
UIS	203
SCOPUS	1.664
Web Of Science	38
ScienceDirect	205
Google Scholar	18.300
ProQuest One Academic	173
IEEE/IEE electronic library	3
Springer	173
Taylor & Francis	290
Virtual Pro	4.181
TOTAL	25.230

Nota: Esta tabla muestra el conteo de los artículos encontrados.

Gran parte de los artículos encontrados se repiten en diferentes buscadores por lo que se descartaron aquellos motores de búsqueda que no contaban con las suficientes referencias que estuvieran directamente relacionados con el enfoque de esta investigación y que ya eran tenidos en cuenta en otros buscadores más robustos como Scopus y Google Scholar.

1.1.2 Palabras Clave:

Después de la primera búsqueda se empezó a perfeccionar y orientar de mejor manera la búsqueda bibliográfica utilizando palabras claves como: "transporte electro-fluvial", "normativas

de transporte fluvial", "tecnologías sostenibles en transporte", "Colombia", "emisiones de transporte", al igual que términos en inglés para poder lograr una mejor búsqueda global, tales como, “energy”, “transport”, “boat”, “community”, “connectivity”, “electric”, “fluvial”, “electric river transport”, “sustainable waterway”, “green energy”, “energy maritime”.

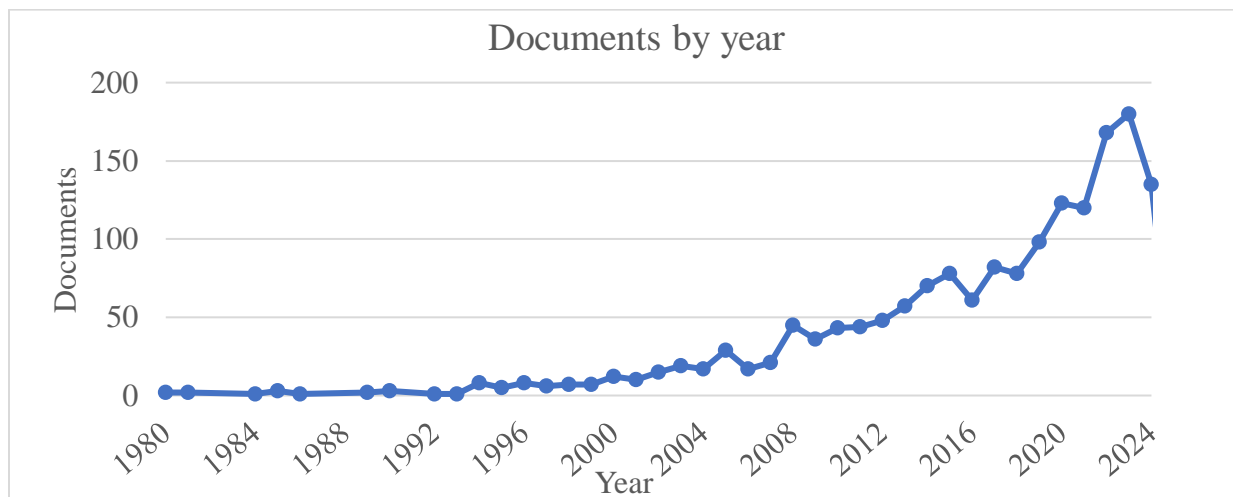
Se obtuvieron unos 25.230 artículos relacionados con el tema de interés con las palabras de búsqueda. En dicho proceso se aplicaron filtros como la fecha de publicación, así como una inspección visual de los títulos de estos documentos y se descartaron algunos de estos. En la siguiente sección, se describen los criterios utilizados

1.1.3 Criterios de Inclusión y Exclusión

- **Inclusión:** Se incluyeron publicaciones académicas desde el siglo XXI donde se encuentran investigaciones que han profundizado más sobre el tema de análisis, incluyendo estudios en español e inglés, principalmente con el enfoque deseado que nos dejó una selección de 14.905 artículos

Figura 1

Producción de artículos por año analizando todos los campos de producción.

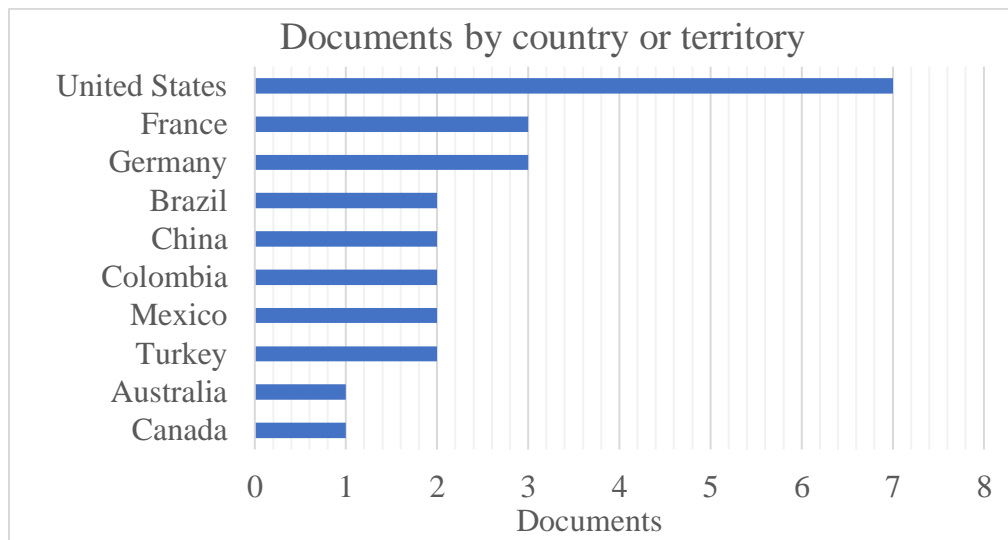


Nota: La gráfica representa la producción de artículos por año según la fuente SCOPUS.

De la gráfica anterior se evidenciaron que la mayoría de los artículos se publicaron después del año 2000, por lo que se aplicó un filtro por año de producción y se buscó centralizar la búsqueda a palabras claves, lo que redujo el total de artículos, obteniendo unos 29 documentos como lo muestra la siguiente gráfica.

Figura 2

Artículos por país o territorio, únicamente con palabras clave.



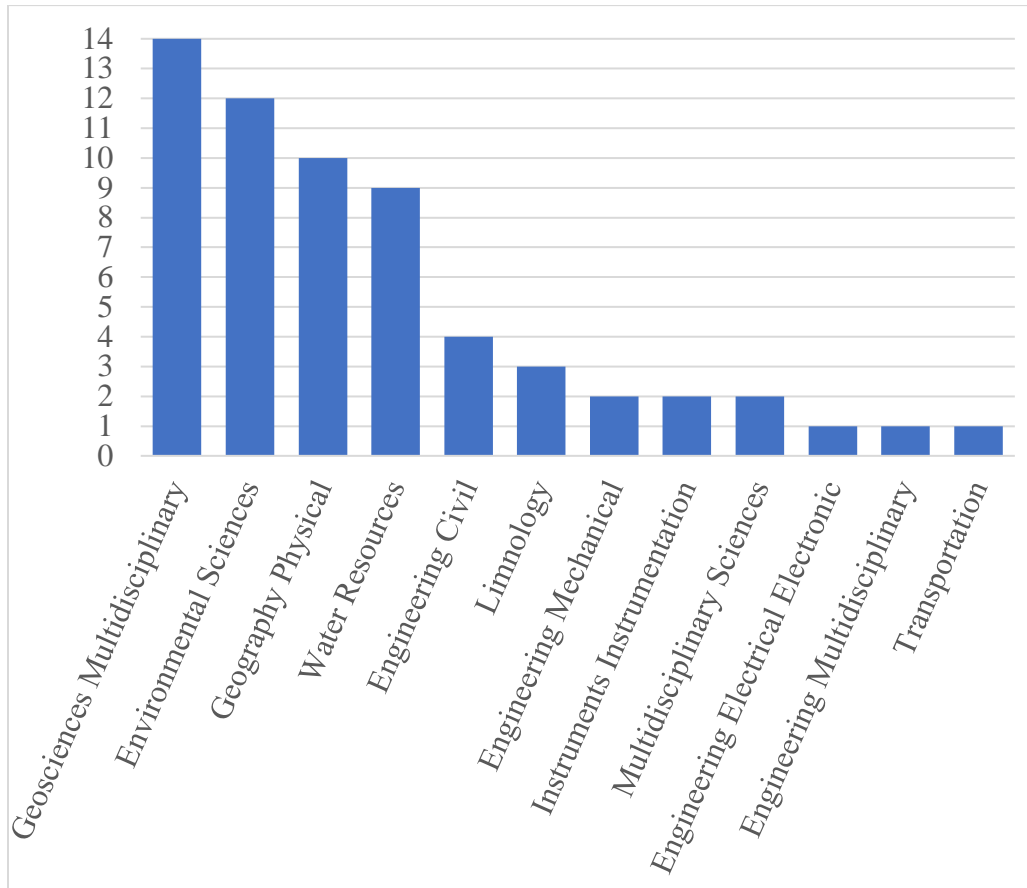
Nota: Esta gráfica contiene la cantidad de artículos encontrada para cada país según la fuente SCOPUS.

El país con más publicaciones de artículos es Estados Unidos con un total de 7 publicaciones, seguido de Francia con 3 publicaciones, como se observa en la Figura 2. Por otro lado, de los 29 artículos solo el 21% han sido publicados en Latinoamérica (6 artículos), entre Brasil, Colombia y México, cada uno con 2 publicaciones.

- **Exclusión:** Estudios sin conexión clara o fuera del enfoque del transporte electro-fluvial, alrededor de 10.325 artículos excluidos.

Figura 3

Artículos por categoría.



Nota: Esta gráfica muestra la cantidad de artículos encontradas para cada categoría de estudio según la fuente Web Of Science.

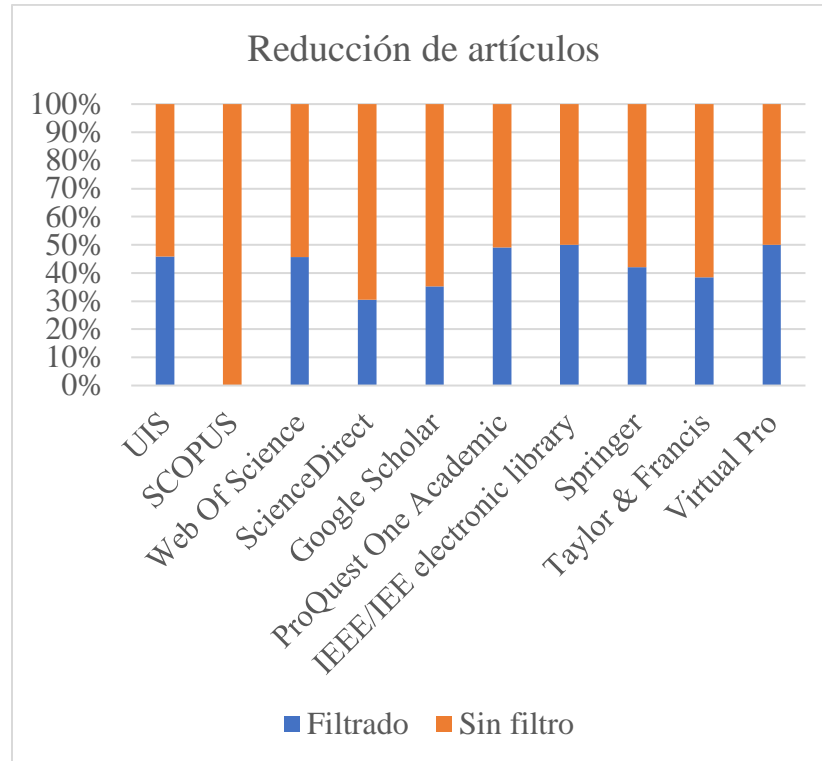
A continuación, se muestra la tabla de artículos y como se redujeron al aplicar los distintos filtros para refinar la información

Tabla 2*Reducción de artículos.*

Buscador	Artículos	Filtrado	Reducción
UIS	203	172	15%
SCOPUS	1.664	4	87%
Web Of Science	38	32	16%
ScienceDirect	205	90	56%
Google Scholar	18.300	9.950	46%
ProQuest One Academic	173	166	4%
IEEE/IEE electronic library	3	3	0%
Springer	173	126	27%
Taylor & Francis	290	181	38%
Virtual Pro	4.181	4.181	0%
TOTAL	25.230	14.905	41%

Nota: Esta tabla muestra el porcentaje de reducción al hacer una primera filtración de la búsqueda.

Los resultados se presentan adicionalmente en un diagrama de barras para una apreciación más clara del número resultante después del proceso de filtrado.

Figura 4*Reducción de artículos.*

Nota: Esta figura muestra de manera gráfica el porcentaje de reducción al filtrar la búsqueda.

Al realizar una revisión detallada de los títulos y el resumen de los artículos obtenidos después del proceso de filtrado, se eligieron 15 artículos que consideramos aportan en la consecución de los objetivos de la presente investigación. En la siguiente tabla se muestran los artículos escogidos con su título, su país y su enfoque principal.

Tabla 3*Artículos elegidos.*

Título	Región o País	Objetivo
Generation of electric energy in isolated rural communities in the	Región Amazonas	Proponer un modelo de electrificación para comunidades rurales aisladas en la

Amazon Region a proposal for the autonomy and sustainability of the local populations (2011)		región amazónica, que garantice la autonomía y sostenibilidad de las poblaciones locales. (Andrade et al., 2010)
A comprehensive energy analysis of a hybrid motorization for small/medium boats (2012)	Colombia	Realizar un análisis energético comprensivo de una motorización híbrida para embarcaciones pequeñas y medianas. (Corredor et al., 2017)
On the Links between Sustainable Wellbeing and Electric Energy Consumption (2013)	Mundial	Analizar el vínculo entre el bienestar sostenible y el consumo de energía eléctrica. (Castro-Sitiriche & Ndoye, 2013)
An overview of electric and solar boats market in France. (2013)	Francia	Proporcionar una descripción de las aplicaciones más significativas de los barcos eléctricos en Francia, destacando los puntos técnicos clave que permitieron alcanzar servicios eficientes y sostenibles. (Guellard et al., 2013)
Hybrid Propulsion Systems for Small Ships: Context and Challenges. (2015)	Europa	Discutir los desafíos y el contexto de los sistemas de propulsión híbridos para embarcaciones pequeñas, proporcionando un análisis detallado de las tecnologías disponibles y su implementación. (Dermentzoglou & Papadopoulos, 2016)
Challenges and opportunities for the development of river logistics as a sustainable alternative: a systematic review.	Brasil / Estados Unidos	Identificar los principales desafíos y oportunidades para el desarrollo de la logística fluvial como una alternativa sostenible. (Vilarinho et al., 2019)
Transporte fluvial en Colombia: operación, infraestructura, ambiente, normativa y potencial de desarrollo (2020)	Colombia	Proveer una perspectiva del transporte fluvial en Colombia y su potencial de desarrollo. (Quintero González et al., 2020)
Influence of energy consumption on battery sizing of electric fluvial vessels: a Colombian Case Study (2020)	Río Magdalena, Colombia	Estimar la resistencia hidrodinámica y la capacidad de la batería de un barco eléctrico para el transporte de pasajeros con el mismo rendimiento que los barcos con motores de combustión interna que operan actualmente en el río Magdalena, en Colombia. (Giraldo-Perez et al., 2020)
The Electric Riverboat Charging Station Location Problem (2020)	Colombia, ríos de la región Amazonas	Minimizar los costos de inversión al determinar la capacidad óptima de la batería para botes eléctricos y la ubicación de estaciones de carga asistidas por energía fotovoltaica para operaciones de transporte fluvial. (Villa et al., 2020)

Estrategia para reactivar el transporte fluvial en el río Meta y articular el transporte multimodal en el oriente colombiano (2022)	Oriente colombiano (Villavicencio, Puerto López, Puerto Gaitán, Cabuyaro, Orocué, Santa Rosalía, La Primavera, Nueva Antioquia y Puerto Carreño)	Formular una estrategia para la reactivación del transporte fluvial sobre el río Meta y articular el transporte multimodal en el oriente colombiano. (Barrera, 2023)
Integración de una microrred solar fotovoltaica al sistema eléctrico de un buque de apoyo logístico y cabotaje liviano BALC-L. (2022)	Pacífico Colombiano	Integrar una microrred solar fotovoltaica al sistema eléctrico de un buque de apoyo logístico y cabotaje liviano (BALC-L1). Se busca generar energía eléctrica aprovechable para alimentar cargas eléctricas específicas a bordo del buque, reduciendo los costos de combustible fósil y las emisiones de CO ₂ a lo largo del ciclo de vida del buque. (Arrieta et al., 2022)
The fluvial passenger transport design problem with an electric boat (2023)	Magangué, Colombia	Evaluar el uso de estaciones de carga fotovoltaicas (PVCS) y su impacto en el transporte fluvial con un barco eléctrico (EB). (Vélez et al., 2023)
Contradictory electric energy policies and its impacts on the renewability of the electric matrix: Brazil as a case study (2023)	Brasil	Evaluar las políticas públicas de Brasil sobre plantas termoeléctricas. (Santos et al., 2023)
Diseño funcional y pruebas de desempeño de un prototipo de bote eléctrico no tripulado para vigilancia y reconocimiento fluvial. (2023)	Colombia	Presentar el diseño y pruebas de desempeño de un prototipo de bote eléctrico no tripulado (USV-Cotenergy) para misiones de vigilancia y reconocimiento fluvial, cumpliendo con los requerimientos de la Armada de Colombia en cuanto a la transición energética hacia el uso de tecnologías más limpias. (Alvarado et al., 2023)
Study of Technological Surveillance in Electric River Mobility for Cargo Transport on	Río Atrato, Colombia	Identificar los avances y el estado de desarrollo de la movilidad fluvial eléctrica para el transporte de carga en el río Atrato, como una alternativa aplicable

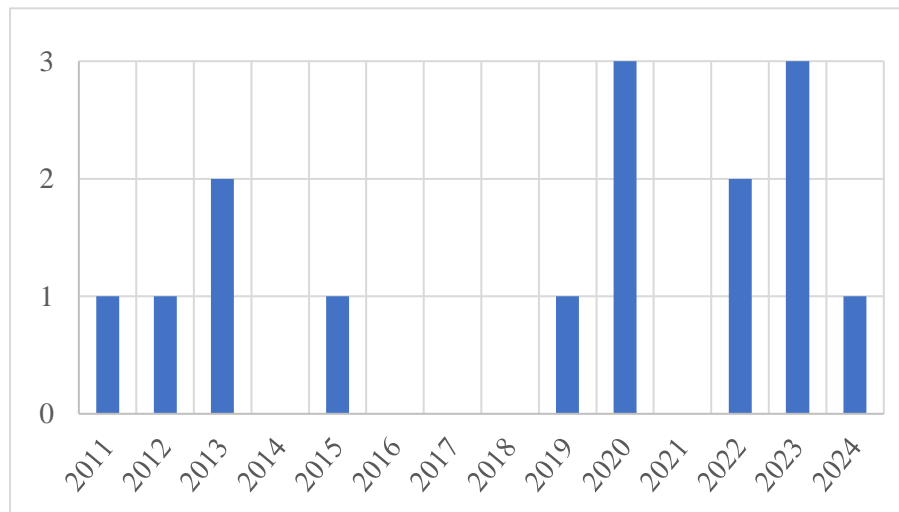
the Atrato River, Colombia (2024)		dentro del proyecto de transformación energética para un transporte ecológico. (Zapata-Campo et al., 2024)
--------------------------------------	--	--

Nota: Esta tabla resume los artículos en los que se basa este estado del arte. La información completa se encuentra en el Apéndice B.

Con estos artículos seleccionados se hizo un análisis de estos documentos por año de producción y por región de aplicación, obteniendo las siguientes gráficas.

Figura 5

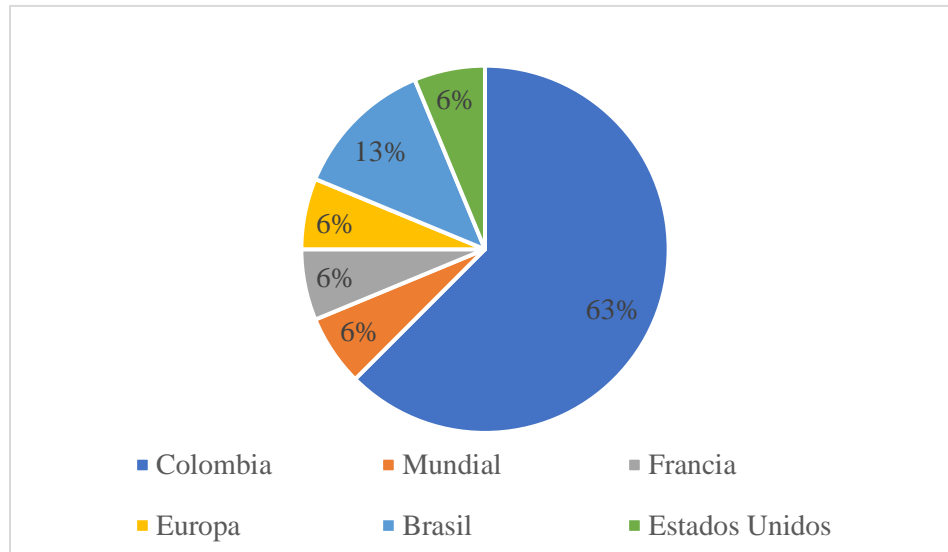
Artículos seleccionados por año de producción.



Nota: Esta gráfica muestra la producción de artículos por años para los artículos anteriormente seleccionados.

Figura 6

Artículos seleccionados por región de enfoque.



Nota: Esta gráfica muestra porcentualmente la región o país de enfoque de los artículos seleccionados.

2. Análisis de datos estadísticos

Esta sección muestra como fue el proceso de recolectar datos estadísticos y cifras oficiales sobre la actualidad de infraestructura, normativas y percepción de expertos y operadores relacionados con el transporte electro-fluvial.

2.1 Datos públicos

A partir de la recopilación de informes gubernamentales, ONG's, y empresas prestadoras de servicios, así como de fuentes de instituciones públicas como: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Ministerio de Transporte, Cormagdalena, y otras, con lo cual se logra obtener 5 informes relevantes para el proyecto.

Tabla 4*Informes gubernamentales.*

Título	Fuente
Situación de la Infraestructura y el transporte Fluvial en Colombia. Prospectiva (2018)	Ministerio de transporte Superintendencia de puertos y transporte Superintendencia delegada de puertos. (Superintendencia de transporte, 2018)
Caracterización de la Infraestructura, la Operación Portuaria y el Transporte Fluvial en Colombia. (2022)	Superintendencia de transporte Delegatura de Puertos Dirección de Promoción y Prevención. (Lozano et al., 2023)
Plan maestro fluvial PMF (2022)	Departamento Nacional de Planeación Ministerio de Transporte. (Ministerio de transporte, 2022)
Plan maestro transporte intermodal PMTI (2021-2051)	Departamento Nacional de Planeación Ministerio de Transporte. (Ministerio de transporte, 2021)
Informe de gestion (2023)	Cormagdalena. (Cormagdalena, 2023)
Caracterización del Transporte en Colombia Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura (2005)	Ministerio de transporte Oficina asesora de planeación Grupo planificación sectorial. (Ministerio de transporte, 2005)

Nota: Esta tabla muestra los títulos y las fuentes de los informes gubernamentales más relevantes encontrados.

2.2 Encuestas

En el marco del proyecto de extensión realizado por el grupo de investigación Geomática y FONTUR cuyo objetivo es la *INTERVENTORÍA TÉCNICA, ADMINISTRATIVA, AMBIENTAL, SST, LEGAL, SOCIAL Y FINANCIERA PARA LA FABRICACIÓN, SUMINISTRO, TRANSPORTE, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE EMBARCADEROS FLUVIALES FLOTANTES* en 88 municipios de toda Colombia ubicados sobre diferentes afluentes como el Río Magdalena, el equipo técnico que hace parte de dicho proyecto ha venido recopilando información en campo sobre la percepción del transporte fluvial de la población y dicho insumo

ha sido puesto a disposición de este proyecto para el análisis. Dichas encuestas se encuentran en el Apéndice A.

Estas encuestas contenían preguntas tales como los tipos de organizaciones presentes en la socialización, las principales conclusiones de la socialización con la comunidad y las autoridades municipales, los destinos a los que el embarcadero a instalar mejorará el transporte de carga liviana, se caracterizaba el municipio por medio de preguntas como el tipo de comunidades presentes en la zona, las condiciones de superficies de rodadura actuales para llegar al punto de embarque fluvial, el tipo de terreno (plano, montañoso, escarpado, ondulado), de qué municipios reciben actualmente embarcaciones, la presencia de organizaciones y/o asociaciones de canoeros u operadores Johnson, las empresas de transporte fluvial o asociaciones de Johnson, el volumen de las embarcaciones que transitan diariamente, los horarios de atención de los embarcaderos, si existe un embarcadero con las características del que se piensa instalar, el estado de los embarcaderos actuales, el mantenimiento de los embarcaderos (obras de arte, nuevos embarcaderos, dragado del río), los costos de transporte, los productos que llegan y salen del municipio por modo fluvial, los servicios públicos con los que cuenta el municipio (acueducto, alcantarillado, energía, internet y gas), el precio actual de la gasolina para el municipio y algunas observaciones finales de la comunidad y los encuestadores.

Estas encuestas fueron realizadas con el propósito de caracterizar las condiciones de dichos municipios ubicados a la orilla de cuerpos de agua tales como: el Río Magdalena, la Ciénaga Grande, el Río Palomino, el Río San Juan, el Río Sogamoso, la Ciénaga de Ayapel, el Río Nechí, la Ciénaga de La Villa, la Ciénaga Caimito, el Río Sinú, el Embalse la Miel, el Río Cauca, el Río Arauca, el Río Cravo Norte, el Río Casanare, el Río Negro, el Río Guaviare, el Río Orinoco, el Río Yucao, el Río Caguán y la Represa Betania.

3. Aspectos normativos

Al igual que en la revisión de sistemática de artículos, para la revisión de aspectos normativos la búsqueda de datos se realizó por medio de fuentes netamente confiables y verídicas tales como la base de datos de la Universidad Industrial de Santander, SCOPUS, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, ProQuest One Academic, IEEE/IEE electronic library, Springer y Taylor & Francis.

Dentro de la recopilación y análisis de datos se tuvo en cuenta no solo la base de datos científicos, sino también las normativas nacionales de Colombia relacionadas con el transporte electro-fluvial emitidas por la presidencia y el ministerio de transporte. Este enfoque nos permitió identificar regulaciones existentes, avances y vacíos en la normativa para transporte electro-fluvial.

En el proceso de búsqueda de normativas se restringió la compilación de información con palabras claves como: "transporte electro-fluvial", "normativas de transporte fluvial", "tecnologías sostenibles en transporte", "Colombia", "Electric Waterway Transport", "electro mobility in rivers", "Sustainable River Transport", "Colombian river regulations", "Benefits and challenges of electric river transport", "fluvial transport incentives Colombia", "normativas transporte sostenibles ríos".

Se obtuvieron alrededor de 4.503 artículos potencialmente relevantes y relacionados con el tema de interés con las ecuaciones de búsqueda.

El análisis de datos tuvo un enfoque bibliométrico para clasificar los artículos y normas según año de publicación, región geográfica, enfoque (tecnológico, económico, ambiental) y aplicabilidad al caso colombiano, conduciendo a un proceso específico para la búsqueda bajo los buscadores Scopus y Web Of Science como se presenta en la Tabla 5. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tabla 5

Coincidencias de los artículos recolectados sobre normativas.

Término	Scopus [cant.]	WOS [cant.]	Coincidencia (WOS en Scopus)		% WOS (en el total)
Electric Waterway Transport	114	83	31	16%	37%
Fluvial Transport Regulations	226	122	46	13%	37%
Electromobility in Rivers	5	5	5	100%	100%
Sustainable River Transport"	1.362	2.062	246	7%	12%
Colombian river regulations	19	24	3	7%	12%
Benefits and challenges of electric river transport	3	7	1	10%	14%
Total	1.729	2.303	332	24%	35%

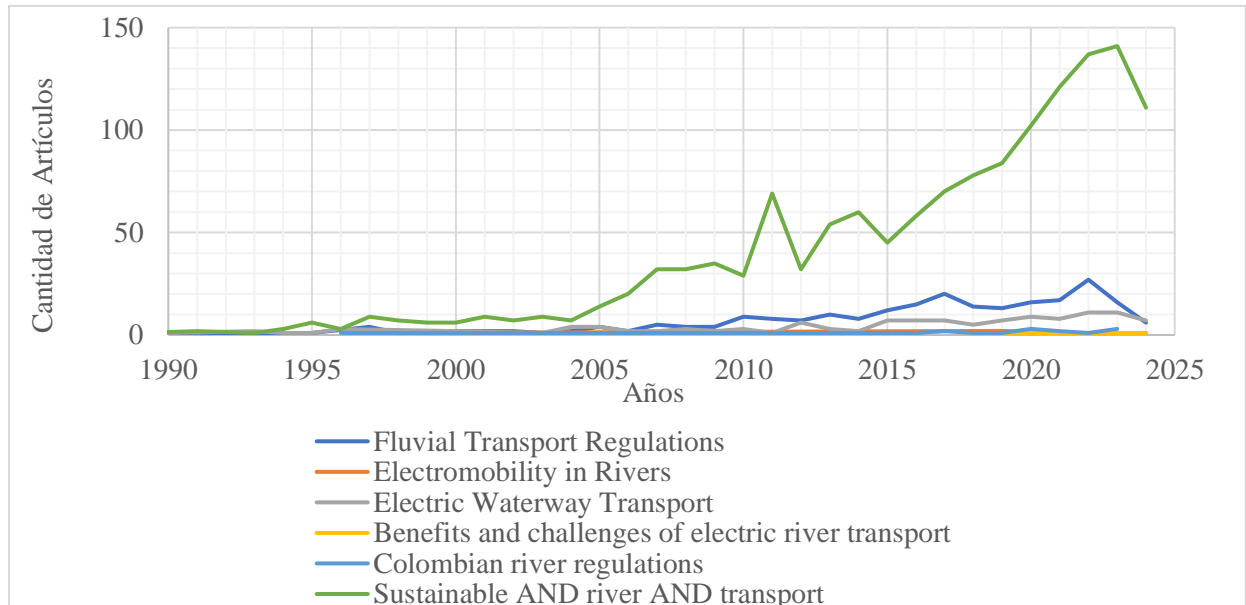
Nota: Esta tabla muestra la coincidencia de los artículos recolectados sobre las normativas.

La tabla anterior presenta los datos recolectados en la base de datos sobre normativas aplicables para el caso de Colombia, aunque se evidencia una amplia información por parte del buscador "Web of Science" también se evidencia la diferencia de coincidencia con los artículos, por esta razón no se descartan archivos o información relevante del buscador "Scopus".

A continuación, se presenta una tabla de los resultados obtenidos bajo análisis bibliométricos lustrando el auge de investigaciones y artículos publicados a través de los años, lo cual, nos permitió enfocar nuestra búsqueda a partir del año 2000:

Figura 7

Cantidad de artículos vs. Años.



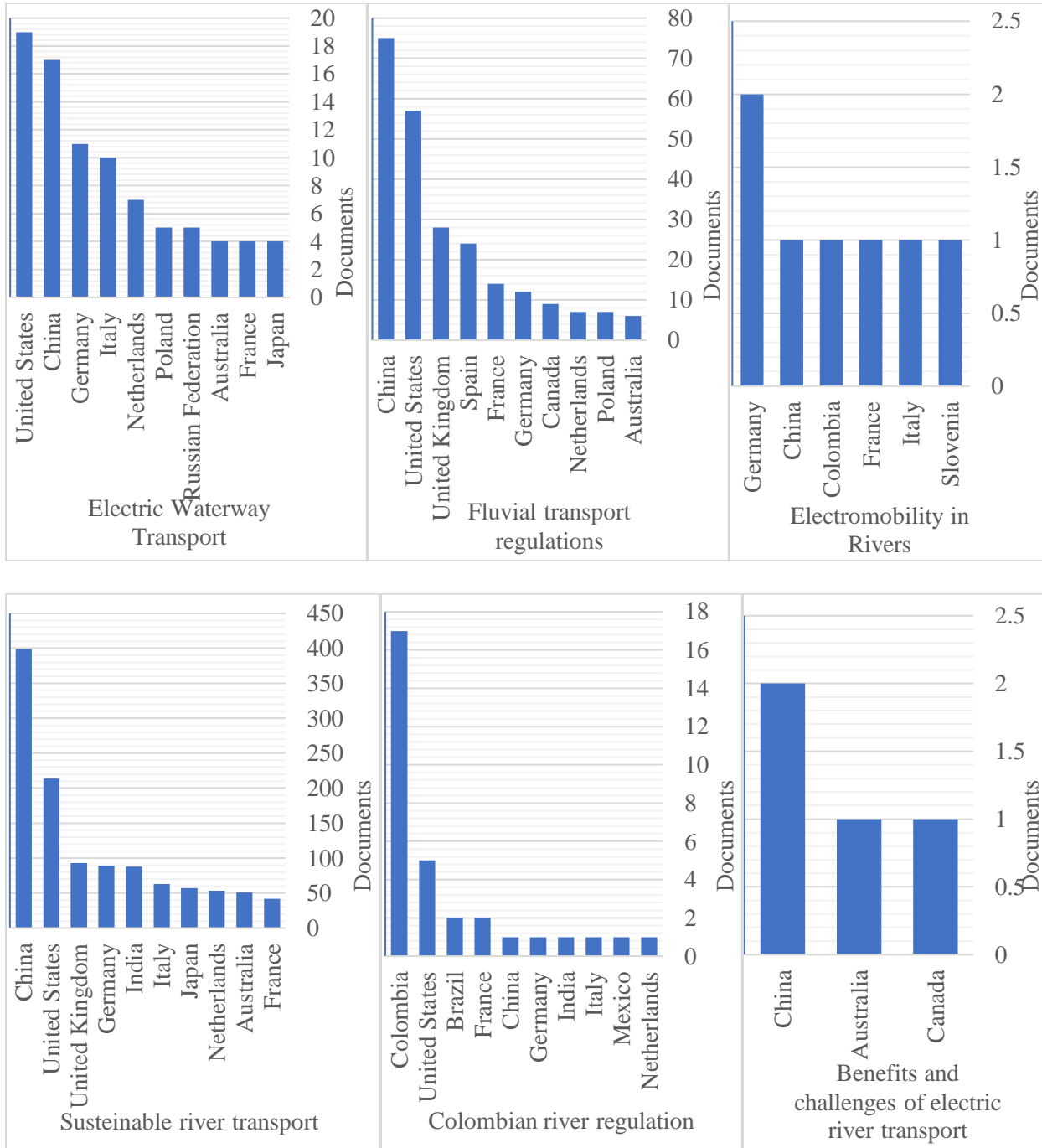
Nota: Esta gráfica muestra la producción de artículos por palabras clave con el pasar del tiempo

Se resaltan evidentes incrementos de información e investigaciones desde el año 2000 lo que permitió segmentar la búsqueda y analizar los archivos provenientes a partir de dicha fecha.

Por consiguiente, se procedió a filtrar la información teniendo en cuenta los países con más investigaciones asociadas al tema de interés, dentro del análisis se encontró predominancia en los países China, Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Colombia como se muestra a continuación:

Figura 8

Investigaciones por países.



Nota: Estas gráficas muestran la cantidad de artículos investigativos por países y por tema obtenidos a partir de la fuente SCOPUS.

Refinando los resultados obtenidos ilustrados en las gráficas anteriores los artículos relacionados con normativas se redujeron a 1.326 en el buscador WOS y a 906 en el buscador Scopus.

Cómo siguiente instancia se refinó la búsqueda con palabras claves para el proyecto tales como: “fluvial transport”, ”benefit”, ”normative“ y ”to promote”, agregado también la lectura de títulos y resúmenes que resultaron interesantes y acordes con el objetivo del proyecto con el fin de seleccionar artículos que mencionara incentivos o beneficios adaptables a las normativas del proyecto, con esto en mente se obtuvo un filtrado de 23 artículos desde el buscador “Scopus” y 10 del buscador ”Web of science” permitiendo dar paso a la evaluación de los artículos.

3.1 Decretos nacionales y artículos internacionales

En esta etapa se revisaron las páginas web oficiales del “Ministerio de Transporte”, “Diario Oficial de Colombia”, “Ministerio de Minas y Energía”, “Presidencia de la República” y “ScienceDirect” de los cuales se encontraron 139 artículos.

En la Tabla 6 y la Tabla 7 se han identificado artículos y normas se presentan.

3.2 Análisis de normativas

Cada normativa se analizó y fueron seleccionadas teniendo en cuenta como criterio de eliminación aquellos temas sin relación con el objetivo del proyecto y optando por artículos que enriquecían la búsqueda y adaptación de normativas, de esta manera se seleccionaron 9 artículos con información importante para poder clasificarlos según su relevancia, logrando describir que el

artículo se alinea con los objetivos del proyecto, los beneficios de los artículos y desafíos de aplicabilidad en Colombia como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6

Artículos para adaptación a las normativas de Colombia de base de datos.

Artículo	Relevancia	Beneficios	Desafíos
Optimizing energy management strategies for hybrid electric ships based on condition identification and model predictive control. (Yuan et al., 2023)	Eficiencia energética en barcos eléctricos.	Reducción de emisiones y costos operativos.	Costos iniciales y mantenimiento de baterías.
CO ₂ emissions and expansion of railway, road, airline and in-land waterway networks over the 1985–2013 period in China: A time series analysis. (Li et al., 2017)	Comparación de modos de transporte.	Reducción de CO ₂ en transporte fluvial.	Contexto geográfico y económico diferente.
An Overview of Promising Alternative Fuels for Road, Rail, Air, and Inland Waterway Transport in Germany. (Breuer et al., 2022)	Combustibles alternativos y sostenibilidad.	Reducción de emisiones con hidrógeno y sintéticos.	Altos costos y falta de infraestructura.
Assessing the decarbonization potential of electric ships for inland waterway freight transportation. (Feng et al., 2024)	Descarbonización de barcos eléctricos.	Reducción significativa de CO ₂ y mejora de eficiencia.	Emisiones indirectas de producción de baterías.
Optimal subsidy scheme design for promoting intermodal freight transport. (Hu et al., 2021)	Subsidios para transporte intermodal.	Promoción de modos de transporte más sostenibles.	Diseño óptimo de subsidios y competencia entre rutas.
Expansion of fluvial transport of commodities through the Pantanal flood plains of Brazil: Potential impacts and interference	Impacto ambiental de transporte fluvial.	Cumplimiento de ODS y reducción de emisiones.	Erosión, pérdida de biodiversidad y cambio climático.

by climate change. (Girard et al., 2024)			
Data, knowledge, and modeling challenges for river delta management. (Blumensaat et al., 2023)	Gestión integrada de deltas.	Soluciones basadas en la naturaleza y resiliencia climática.	Falta de datos y modelos precisos.
Biomass-Derived Carbonaceous Materials with Multichannel Waterways for Solar-Driven Clean Water and Thermoelectric Power Generation. (Liu et al., 2021)	Innovaciones en generación de energía.	Uso de biomasa y energía solar para producción de energía.	Escalabilidad y costo de implementación.
Fluvial bedload transport modelling: advanced ensemble tree-based models or optimized deep learning algorithms? (Khosravi et al., 2024)	Modelización del transporte sedimentos.	Mejora en la predicción y gestión fluvial.	Adaptación a condiciones locales y complejidad técnica.

Nota: Esta tabla muestra los artículos para adaptación a las normativas colombianas de la base de datos.

Tabla 7

Normativas presentes en Colombia y artículos adaptables a Colombia.

Fuente	Normativa/Artículo	Descripción	Beneficios	Desafíos
Diario oficial de Colombia. (Diario Oficial de Colombia, 2015)	Decreto 1079 de 2015 (Régimen de Transporte)	Regula el transporte, incluido el fluvial. No tiene disposiciones específicas sobre transporte eléctrico fluvial.	Facilita la infraestructura portuaria, transporte de carga y pasajeros.	Falta de incentivos específicos para la electrificación fluvial.
Ministerio de Transporte. (Ministerio de Transporte, 2019)	Resolución 2400 de 2019	Establece lineamientos para la sostenibilidad en el transporte, pero no especifica	Promueve la sostenibilidad en el transporte.	No menciona específicamente el transporte eléctrico en vías fluviales.

		el transporte fluvial eléctrico.		
ScienceDirect. (Wang et al., 2023)	Artículo: "Electric waterway transport in Europe"	Analiza normativas en Europa sobre la electromovilidad fluvial y su aplicabilidad a otros contextos.	Ejemplos de normativas e incentivos que pueden adaptarse a Colombia.	Condiciones geográficas y socioeconómicas diferentes.
ScienceDirect. (ScienceDirect, 2023)	Artículo: "Assessing policy frameworks for electric ships in Asia"	Discute políticas e incentivos en Asia que podrían ser comparables a Colombia.	Políticas exitosas que podrían ser adaptadas.	Necesidad de políticas locales específicas y estudios de viabilidad.
Presidencia de la República. (Presidencia de la República, 2022)	Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026	Incluye propuestas generales para la sostenibilidad en el transporte, pero carece de detalles sobre transporte fluvial.	Orientación hacia la sostenibilidad en políticas nacionales.	Necesidad de políticas más detalladas y específicas para transporte fluvial eléctrico.

Nota: Esta tabla muestra las normativas presentes en Colombia y aquellos artículos adaptables a Colombia.

De esta manera se organizó y sintetizó la información para poder continuar con un siguiente criterio de análisis relacionado con los incentivos para promover el transporte electro-fluvial.

4. Análisis de incentivos

Como respaldo del proyecto se identificaron y analizaron propuestas originales, diseñadas en función de los vacíos normativos identificados en las normativas de Colombia existentes (Decreto 1079 de 2015, Resolución 2400 de 2019, etc.) y artículos sobre transporte electro fluvial (referencia a artículos como "Electric waterway transport in Europe"):

4.1 Incentivos económicos y fiscales

1. Proporcionar subsidios directos que cubran un porcentaje del costo para facilitar la adquisición de barcos eléctricos o proporcionar una alternativa a la conversión de barcos Diesel al sistema eléctrico. Propuesta basada en la adaptación de políticas similares vistas en el Decreto 1623 de 2020 (Ministerio de Transporte, 2020), que actualmente se centra en transporte terrestre eléctrico e híbrido, y en ejemplos internacionales mencionados en el artículo "Assessing policy frameworks for electric ships in Asia"(ScienceDirect, 2023).
2. Implementar excepciones de impuestos como el IVA y reducción de aranceles para la importación de componentes claves de baterías, motores y sistemas de energía. Esta propuesta sigue el marco de la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014), que incentiva la integración de energías renovables. Se propone abarcarlo especialmente para transporte electro-fluvial.

4.2 Desarrollo de infraestructuras de carga:

3. Construcción de estaciones de carga eléctricas en las principales rutas fluviales del país. Esta es una **propuesta propia** basada en la identificación de necesidades encontradas en varios estudios de caso internacionales (e.g., "Electric waterway transport in Europe")
4. Implementación y seguimiento de programas piloto en el Río Magdalena o Río Cauca teniendo en cuenta estos sectores como rutas clave.

4.3 Regulaciones ambientales:

5. Normas que aseguren la operación y manipulación de barcos eléctricos de forma segura, incluyendo la gestión de emergencia

6. Crear estrategias y plan de acción para gestionar los residuos de baterías eléctricas que fomenten el reciclaje.

Propuestas originales con base en las normas internacionales existentes de seguridad para baterías y energía las cuales son:

ISO 12405-4:2021 - Electrified Road Vehicles — Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems — Part 4: Performance testing. (International Organization for Standardization, 2021)

La cual contiene especificaciones de ensayo desde rendimiento, seguridad y vida útil para baterías de iones de litio que son implementadas en vehículos eléctricos y barcos eléctricos, evitando riesgos de explosiones, incendios o fugas peligrosas.

"ISO 12405-4:2021 Electrified Road Vehicles — Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems — Part 4: Performance testing," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2021.

ISO 17840:2022 - Road Vehicles — Information for first and second responders. (International Organization for Standardization, 2022)

Esta norma instruye sobre protocolos de emergencia para vehículos eléctricos, proporcionando la gestión rápida en casos críticos sobre cómo manejar baterías en situaciones de accidentes. "ISO 17840:2022 Road Vehicles — Information for first and second responders," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2022.

IEC 62619:2022 - Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications. (International Electrotechnical Commission, 2022)

Esta norma de la comisión eléctrica internacional (IEC) establece estándares de seguridad para celdas secundarias de litio y baterías en condiciones extremas, evitando sobrecalentamiento, cortocircuitos y mal funcionamiento. "IEC 62619:2022 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications," International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2022.

Directiva de la Unión Europea 2006/66/EC sobre Pilas y Acumuladores y sus Residuos. (Parlamento Europeo, 2006)

Esta directiva proporciona normas para la producción, manejo y reciclaje de Pilas y baterías de litio las cuales son adaptables a Colombia para gestionar residuos de baterías de barcos eléctricos. "Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC," Official Journal of the European Union, 2006.

ISO 14040:2006 - Gestión Ambiental — Evaluación del Ciclo de Vida — Principios y Marco. (International Organization for Standardization, 2006)

En esta sección especifican la metodología de evaluación ambiental del ciclo de vida (LCA) a aplicar para conocer los impactos generados de las baterías, permitiendo analizar y crear estrategias políticas que aseguren su uso sostenible.

"ISO 14040:2006 Environmental Management — Life cycle assessment — Principles and framework," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.

4.4 Investigación y desarrollo (I+D)

1. Fijar fondos para la adquisición de baterías eficientes y sistemas de propulsión eléctrica.
2. Crear lazos de colaboración con Universidades y centros de investigación nacionales e internacionales que proporcionen conocimiento y tecnologías.

Propuesta basada en políticas como las de la **Ley 1715 de 2014** (Congreso de la República de Colombia, 2014), que podría ampliarse para fomentar específicamente la electrificación fluvial.

Con la propuesta anterior se logró identificar las políticas actuales y posibles adaptaciones que aseguren parte de lo mencionado anteriormente de la siguiente manera:

Tabla 8

Políticas actuales y posibles adaptaciones.

Política / Normativa Actual	Descripción	Adaptación
Decreto 1079 de 2015 (Régimen de Transporte). (Diario Oficial de Colombia, 2015)	Regula el transporte Colombia	Detallar arreglo para la electrificación del transporte fluvial (Excepción de IVA y subsidios)
Resolución 2400 de 2019 (Sostenibilidad en el Transporte) (2022). (Ministerio de Transporte, 2019)	Establece pautas generales que promueven la sostenibilidad en el transporte.	Extender las pautas que abarquen el transporte fluvial
Decreto 1623 de 2020 (Movilidad Eléctrica e Híbrida). (Ministerio de Transporte, 2020)	Fomenta la movilidad eléctrica e híbrida en el transporte terrestre	Ampliar el decreto para incluir la electrificación del transporte fluvial

Ley 1715 de 2014 (Integración de Energías Renovables). (Congreso de la República de Colombia, 2014)	Promueve la integración de energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional.	Incentivar bajo subsidios la instalación de estaciones de carga en puertos estratégicos.
Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. (Presidencia de la República, 2022)	Detalla la sostenibilidad y desarrollo de infraestructura	Incluir meta y plan de acción específico, claro y coherente que cubra necesidades de infraestructura
Resolución 315 de 2021 (Agencia Nacional de Infraestructura, 2021).	Regula la concesión de infraestructuras de transporte multimodal.	Incluir cláusulas que promuevan el uso de transporte fluvial eléctrico en proyectos multimodales.

Nota: Esta tabla muestra las políticas que rigen actualmente en Colombia y como se podrían posiblemente adaptar.

Estas propuestas se basan en un análisis crítico en base a las normativas existentes en Colombia teniendo en cuenta la revisión de casos internacionales con el fin de cerrar vacíos identificados y promover el uso del transporte electro-fluvial.

Finalmente, se puede evidenciar a partir de la revisión literaria mostrada en las secciones anteriores que el transporte electro-fluvial en Colombia es una alternativa viable y sostenible que puede reducir significativamente las emisiones y costos operativos a largo plazo. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos técnicos y logísticos, como la necesidad de adaptar la infraestructura y formar a los operadores. Sin embargo, las normativas actuales deben actualizarse para apoyar esta transición, y es crucial implementar incentivos económicos y técnicos para estimular la adaptación. La percepción de los expertos es positiva, pero se requiere apoyo gubernamental y colaboración público-privada para superar las barreras y avanzar hacia un sistema de transporte más sostenible.

5. Transporte fluvial nacional en cifras

Actualmente en Colombia, el transporte fluvial es implementado en la mayoría de sus departamentos. Según la superintendencia de transporte, los departamentos donde se tiene presencia fluvial son (Lozano et al., 2023):

Amazonas	Chocó	N. Santander
Antioquia	Córdoba	Santander
Arauca	Cundinamarca	Risaralda
Atlántico	Guainía	Putumayo
Bolívar	Guaviare	Sucre
Boyacá	Huila	Tolima
Caldas	La Guajira	Valle del Cauca
Caquetá	Magdalena	Vaupés
Casanare	Meta	Vichada
Cesar	Nariño	Cauca

La red fluvial navegable de Colombia tiene una longitud total de 18.225 km de los cuales 11.273 km corresponden a la navegación mayor, con capacidad transportadora de 25 o más toneladas, y 6.952 a navegación menor, para el transporte de menos de 25 toneladas (Ministerio de transporte, 2010). Estas redes fluviales permiten recorrer casi la totalidad del país.

El sistema fluvial está dividido administrativamente en cuatro cuencas, donde las más transitadas son la Orinoco y Magdalena (RAP PACÍFICO, 2022), a continuación, se nombran las cuencas y su kilometraje navegable.

Tabla 9

Cuencas fluviales con sus kilometrajes navegables.

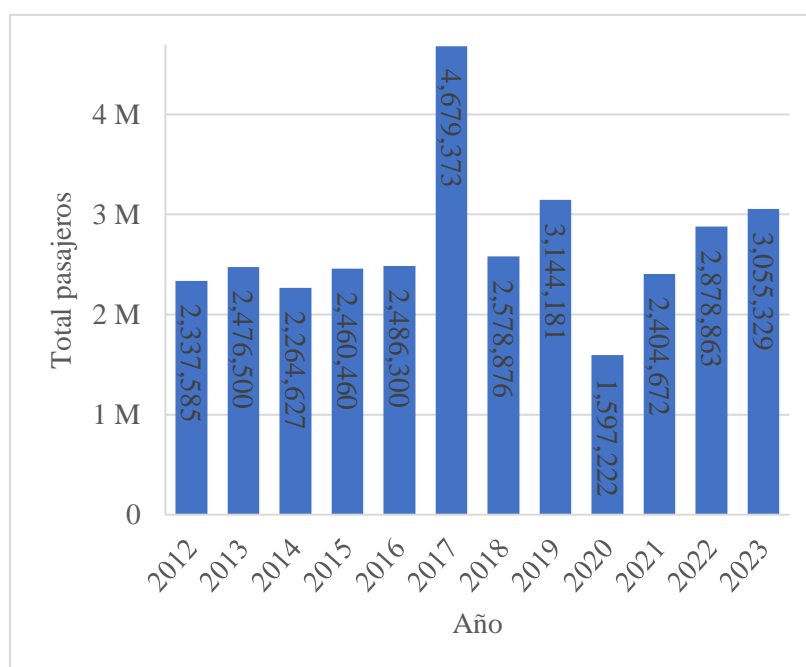
Cuenca fluvial	Ríos	Longitud navegable
Magdalena	Magdalena, Canal del Dique, Cauca, Nechí, Cesar, Sinú, San Jorge, otros	2.770 km
Atrato	Atrato, San Juan, Baudó, otros	3.077 km
Orinoco	Orinoco, Meta, Arauca, Guaviare, Inírida, Vichada, Vaupés, Unilla, otros	6.736 km
Amazonas	Amazonas, Putumayo, Caquetá, Patía, otros	5.642 km

Nota: Esta tabla muestra los ríos y longitudes navegables según las cuencas fluviales de Colombia obtenida a partir de los datos del “*Plan maestro fluvial*”.

Para el año 2023, esta forma de transporte logró movilizar a 3,055,329 personas (Ministerio de transporte, 2023), según los datos proporcionados por el ministerio de transporte en “*Transporte en cifras 2023*”, como se muestra en la siguiente ilustración,

Figura 9

Demanda de pasajeros.



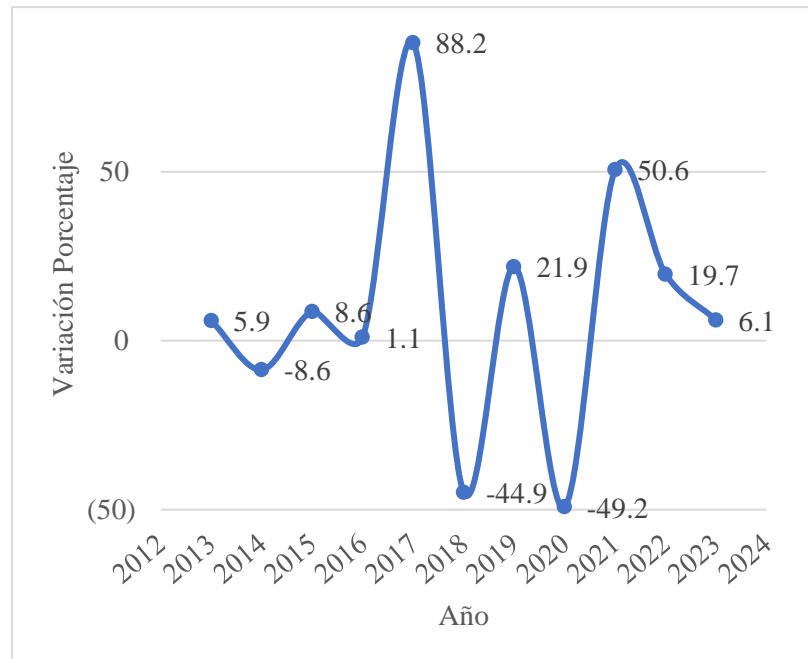
Nota: Este grafico muestra la demanda de pasajeros para el año 2023 en el transporte fluvial obtenida de “*Plan maestro fluvial*”, Ministerio de transporte.

Desde el año 2020, la movilización de pasajeros por este modo ha experimentado un crecimiento gradual. En el año 2023, se registró una variación del 91% con respecto al año 2020

y del 6.1% con respecto al 2022 (Ministerio de transporte, 2023), como se muestra en la ilustración de transporte en cifras.

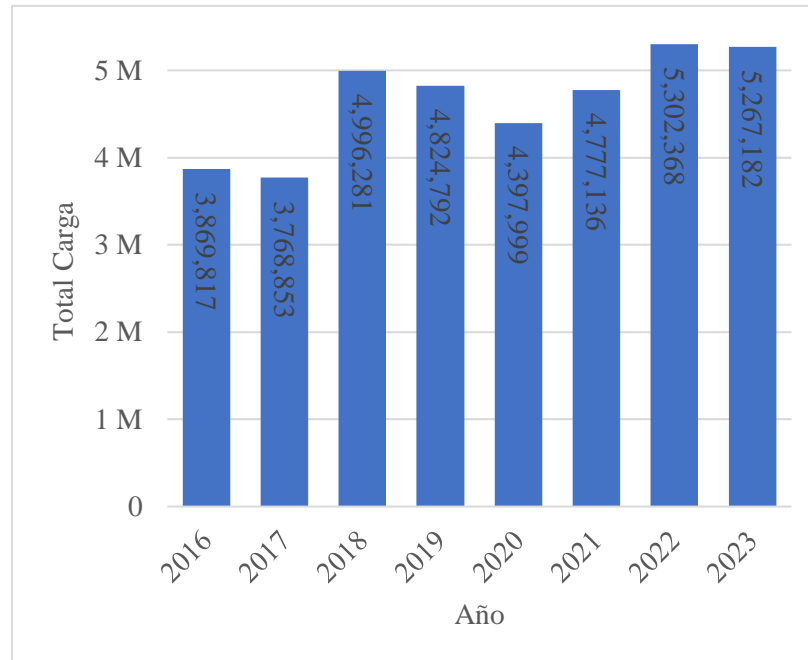
Figura 10

Variación porcentual de pasajeros.



Nota: Esta grafica muestra la variación porcentual de pasajeros que utilizaron el transporte fluvial en los últimos años obtenida de “[Plan maestro fluvial](#)”, Ministerio de transporte.

El movimiento de carga fluvial en el año 2023 fue significativo, con un total de 5,267,182 toneladas transportadas. Aunque este año experimentó una ligera variación negativa del 0.7% en comparación con el año anterior, sigue siendo notable que el 2023 se posicionó como el segundo año con la mayor cantidad de carga movilizada por este medio, justo después del año 2022 (Ministerio de transporte, 2023).

Figura 11*Porcentaje de carga.*

Nota: Esta gráfica muestra el porcentaje de transporte de carga por el modo fluvial obtenida de “[Plan maestro fluvial](#)”, Ministerio de transporte.

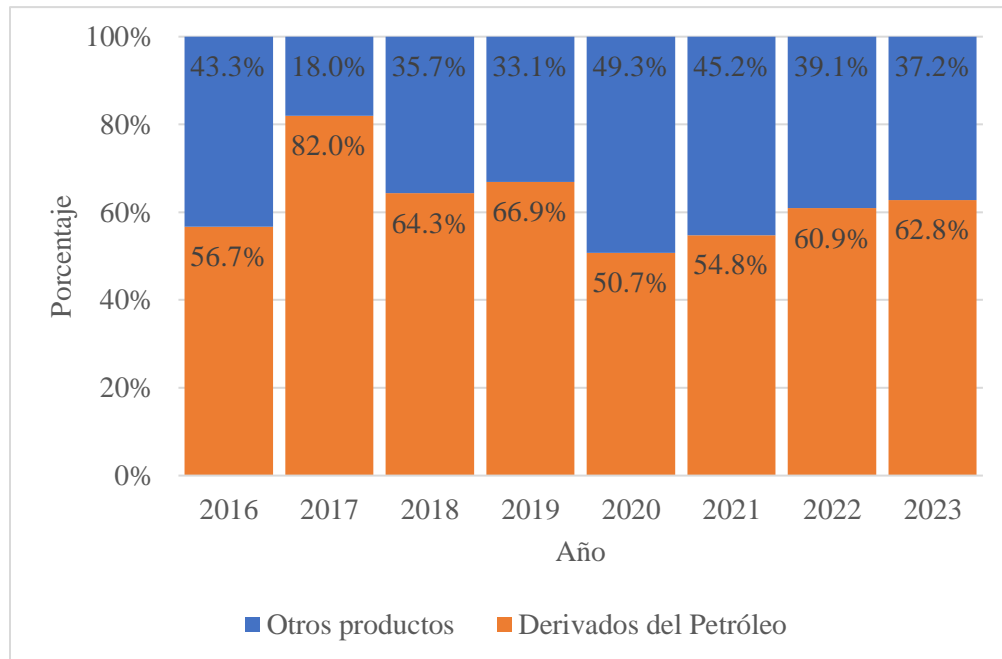
Desde el año 2016, se ha observado una tendencia al alza en el transporte de carga por vía fluvial, lo que indica la importancia creciente de este modo de transporte en la economía nacional. A pesar de la variación negativa en el año 2023, esta tendencia ascendente sugiere un mayor uso y aprovechamiento de las vías fluviales como una alternativa viable para el transporte de mercancías en Colombia. (Ministerio de transporte, 2023)

Es crucial destacar que la mayoría de la carga transportada por vía fluvial está compuesta por productos derivados del petróleo. Esta tendencia ha ido en aumento desde el año 2020, alcanzando un impresionante 62.8% del total de carga transportada para el año 2023. Este hecho

subraya la importancia estratégica de la logística fluvial en el transporte de recursos energéticos y su contribución al desarrollo económico del país. (Ministerio de transporte, 2023)

Figura 12

Distribución porcentual de carga según tipo de producto.



Nota: Esta gráfica muestra la distribución porcentual de la carga en el modo fluvial según el tipo de producto obtenida de “[Plan maestro fluvial](#)”, Ministerio de transporte.

El ministerio de transporte también presenta el inventario de vehículos por modo de transporte, haciendo un recorrido desde el año 2021, para el transporte fluvial se construyó la siguiente tabla.

Tabla 10

Inventario de vehículos fluviales.

Vehículo	2021	2022	2023
Remolcadores	177	178	171

Botes	648	649	652
-------	-----	-----	-----

Nota: Esta tabla muestra el total de vehículos fluviales inventariados al 2023 según el “[Plan maestro fluvial](#)”, Ministerio de transporte.

6. Desafíos y necesidades del transporte electro-fluvial.

En transporte electro fluvial es Colombia es un tema considerablemente nuevo en el país, contando aún con múltiples desafíos y necesidades que se deben abordar, detallar y analizar con anticipación. Dentro del estudio y análisis de los artículos seleccionados se identificaron desafíos y necesidades del siguiente tipo:

1. Variabilidad Hidrológica Extrema en Ríos Colombianos: La variabilidad del agua es un factor que debe ser considerado durante el desarrollo del proyecto debido a los cambios climáticos presentes en el país junto con fenómenos como El niño y La niña, lo que puede repercutir en la navegación estable y constante al igual que Tecnologías fluviales
2. Adaptación de infraestructuras para baterías de gran tamaño: El tamaño y espacio necesario para implementar baterías eléctricas se considera voluminoso y a su vez de gran peso. Actualmente Colombia no cuenta con los recursos para su reemplazo y sus puertos no están adecuados infraestructuralmente para su almacenamiento. Y tratándose de las comunidades más remotas, las condiciones de infraestructura son más decadentes por el abandono político.
3. Desafíos en la Gestión de Residuos de Baterías: Se identificó preocupación en la contaminación ambiental a largo plazo por la falta de un sistema de reciclaje establecido en Colombia.

4. Costos iniciales elevados: Dentro del análisis de costo se resalta los elevados costos iniciales para la electrificación de barcos fluviales comparado con la implementación de motores diésel, desmotivando la inversión de operadores.
5. Falta de interconexión entre transporte fluvial y el terrestre: Actualmente no hay una conexión fluida entre el transporte fluvial y el terrestre, especialmente en las zonas más apartadas de las ciudades principales, dificultando la eficiencia y adaptación del sistema.
6. Impacto de especies invasoras en Ecosistemas fluviales: La consideración del impacto al ecosistema es puesta a consideración debido a la brecha que genera y facilita la introducción de especies invasoras que afecten la biodiversidad.
7. Resistencia cultural a las nuevas Tecnologías: La resistencia cultural es sin duda un desafío existente dentro de la localidad debido a su falta de sensibilización sobre los beneficios a largo plazo.
8. Falta de datos y modelos específicos para Colombia: Aunque hay factores que pueden adaptarse o aplicarse de otros países a Colombia los modelos predictivos avanzados que presentan la gestión de ríos y transporte fluvial es difícil de aplicar debido a su localidad y ajustes de modelos.
9. Incentivos insuficientes para innovación y electrificación: aún deben alinearse y coordinarse subsidios y programas que incentive adecuadamente la fomentación y adaptación de tecnologías de transporte electro fluvial.

10. Problemas de erosión de gestión de sedimentos: Teniendo en cuenta que existen problemas de erosión en las orillas de los ríos se debe evaluar la afección en la implementación de este tipo de transporte.
11. Dependencia de importaciones en componentes claves: La batería de litio es una de las importaciones de las que depende Colombia llegando a afectar su disponibilidad y su costo.
12. Desafíos de seguridad en zonas remotas: La implementación de este transporte en zonas alejadas puede enfrentar desafíos de seguridad debido a la falta de control en esas regiones.

7. Análisis de caso

En esta sección se presenta un análisis detallado de información recopilada a través de encuestas en múltiples municipios alrededor de los ríos principales de Colombia en cuanto a la situación del transporte fluvial. El objetivo principal es identificar los problemas que están afectando la infraestructura, el acceso a servicios y el impacto económico que se están generando en ellos.

7.1 Estadística de las encuestas

Con base al proyecto de la construcción de embarcaderos se realizaron unas encuestas a la comunidad de los municipios de los departamentos que utiliza el transporte fluvial y se enlistan a continuación,

Tabla 11

Municipios donde se realizaron las encuestas.

Departamento	Municipio
Antioquia	Puerto Triunfo, Zaragoza, Puerto Berrío, San Juan De Urabá
Arauca	Arauca, Arauquita, Cravo Norte, Puerto Rondón
Boyacá	Puerto Boyacá

Bolívar	Cantagallo, Magangué, Regidor, Morales, Arenal, Cicuco, Pinillos, Talaigua Nuevo, Margarita
Cesar	Gamarra
Caldas	Norcasía
Caquetá	Cartagena Del Chairá
Cauca	Suarez
Córdoba	Ayapel, Loricá
Cundinamarca	Puerto Salgar
Guainía	Barranco Minas
Huila	Yaguará
La Guajira	Dibulla
Magdalena	San Sebastián De Buen, Santa Bárbara De Pint, Pueblo Viejo
Meta	Puerto Gaitán
Santander	Barrancabermeja, Puerto Wilches, Puerto Parra, Betulia
Sucre	San Benito Abad, Caimito
Vichada	Puerto Carreño

Nota: Esta tabla muestra los distintos municipios donde se realizaron las encuestas recopiladas.

Con lo que se identificaron estas necesidades.

1. Reducción de costos de transporte.
2. Canalización del cuerpo de agua para garantizar la navegabilidad y el transporte fluvial.
3. Desarrollar el turismo y la pesca en estos municipios para impulsar la economía.
4. Conexión entre modos de transporte

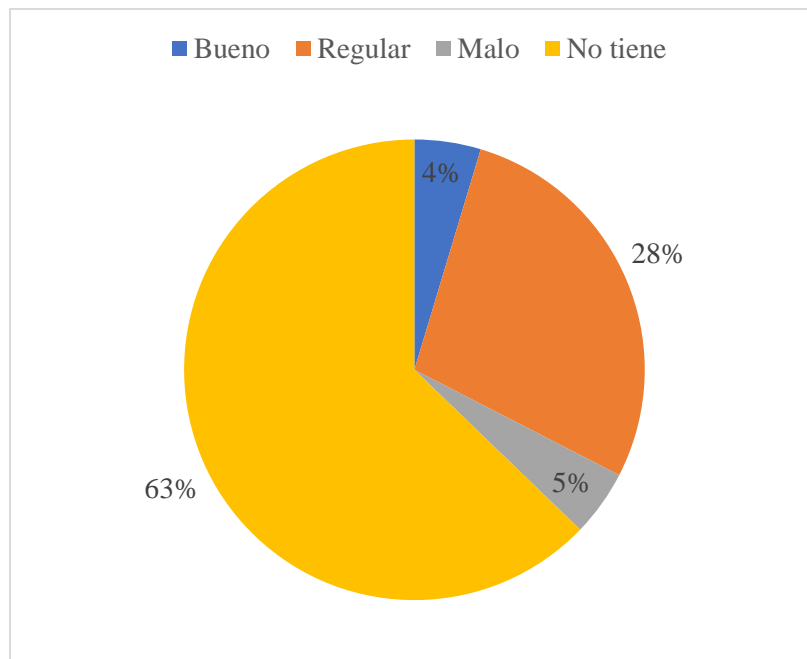
Estas necesidades se identificaron basados en las gráficas y datos como se muestran a continuación,

7.1.1 Estados de los embarcaderos

Con los datos recopilados se pudo evidenciar que en la mayoría de los municipios no había embarcaderos y en aquellos que habían el estado para la mayoría era regular.

Figura 13

Estado de los embarcaderos.



Nota: Esta gráfica muestra el porcentualmente el estado de los embarcaderos según las encuestas recopiladas.

Con las visitas realizadas a dichos municipios se obtuvieron las siguientes fotos de los embarcaderos.

Figura 14

Embarcadero puerto Boyacá.



Nota: Esta figura muestra el estado actual del embarcadero en Puerto Boyacá obtenida de las visitas realizadas a los embarcaderos.

Figura 15

Embarcadero Cantagallo.



Nota: *Esta figura muestra el estado actual del embarcadero en Cantagallo obtenida de las visitas realizadas a los embarcaderos.

Figura 16

Embarcadero Betulia.



Nota: Esta figura muestra el estado actual del embarcadero en Puerto Boyaca obtenida de las visitas realizadas a los embarcaderos.

7.1.2 Mantenimiento de los embarcaderos

El 72% de los embarcaderos existentes no han tenido un mantenimiento o mejoramiento de sus condiciones y el 38% sobrante ha tenido un mantenimiento de hace más de un año.

Figura 17

Porcentaje de municipios con mantenimiento de embarcaderos.



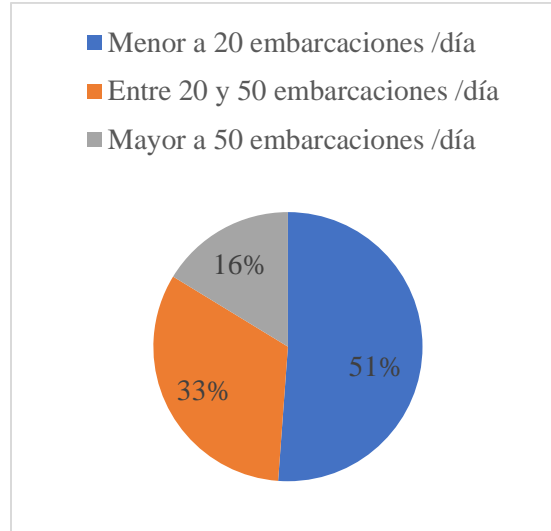
Nota: *Esta figura muestra el porcentaje de mantenimiento de los embarcaderos en los respectivos municipios donde se realizaron las encuestas

7.1.3 Embarcaciones activas

La mayoría de los municipios cuenta con menos de 20 embarcaciones activas, con un 51% equivalente a 22 municipios, seguido de los municipios con entre 20 y 50 embarcaciones diarias, con un 33%, y el 16% restante es para los municipios con más de 50 embarcaciones diarias.

Figura 18

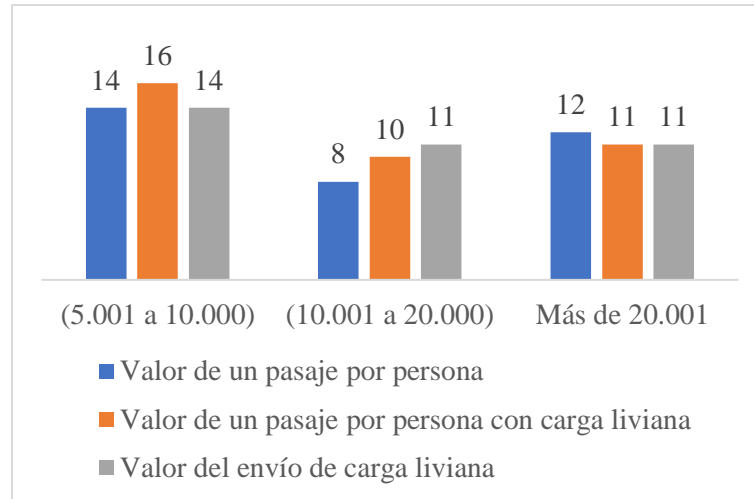
Número de embarcaciones activas por día.



Nota: Esta figura muestra el número de embarcaciones activas diariamente en los municipios encuestados.

7.1.4 Costos de transporte

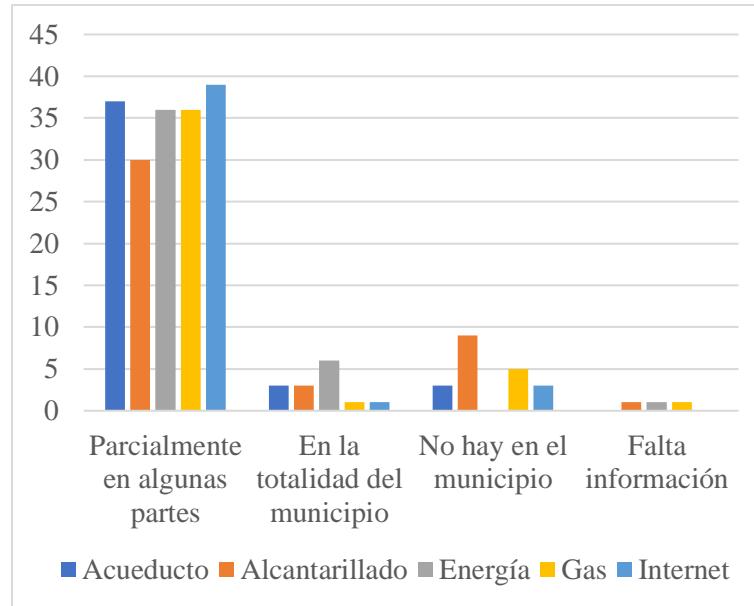
Los costos de transporte pueden variar dependiendo de la carga a transportar, son costos elevados teniendo en cuenta que estos se deben asumir diariamente para los habitantes que dependen de este medio de transporte rutinario.

Figura 19*Costo del pasaje transporte fluvial.*

Nota: Esta figura muestra el costo del pasaje en el modo de transporte fluvial según los municipios encuestados.

7.1.5 Acceso a servicios públicos

Se pudo analizar que el acceso a servicios públicos en estos municipios es parcialmente en algunas zonas, ya que, de los 43 municipios analizados, el acceso a servicios es parcial para entre 30 y 40 municipios.

Figura 20*Acceso a servicios públicos.*

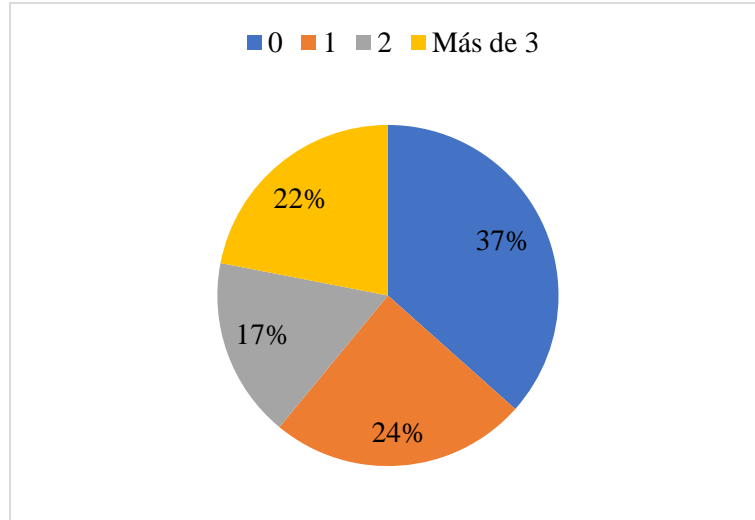
Nota: Esta figura muestra la capacidad de acceso a los servicios públicos según los municipios encuestados.

7.1.6 Empresas de transporte fluvial

Actualmente se encuentran muy pocas empresas de transporte fluvial en los municipios visitados, este es un aspecto relevante para considerar al momento de desarrollar el transporte electro-fluvial.

Figura 21

Empresas de transporte fluvial en los municipios.



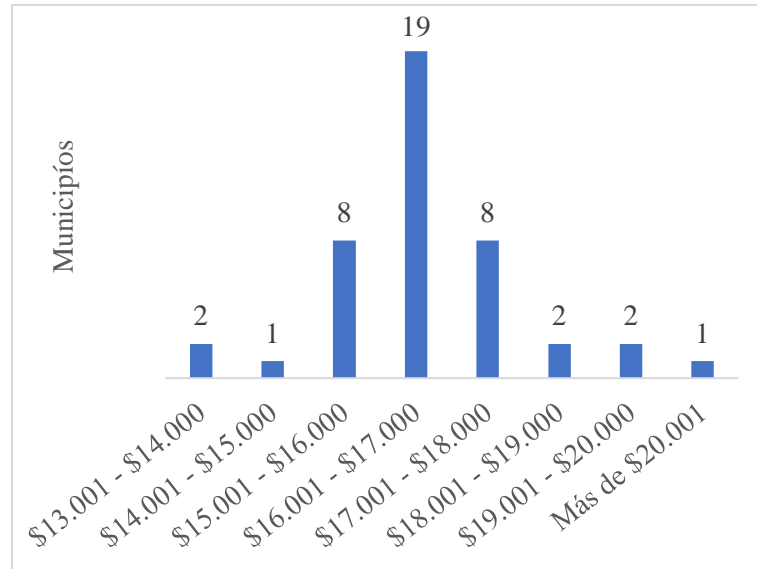
Nota: Esta figura muestra el porcentaje de presencia de empresas en el modo de transporte fluvial según los municipios encuestados.

7.1.7 Precio del combustible

El precio de la gasolina es un factor considerable, se puede decir que los costos asociados al combustible varían completamente según la zona, en la siguiente grafica se evidencia que en la mayoría de los municipios el costo es entre \$15.000 y \$18.000.

Figura 22

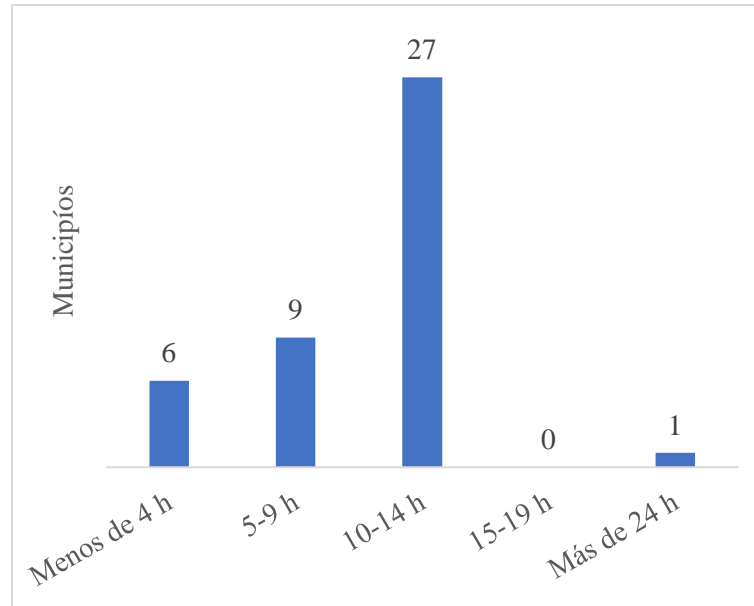
Precio de la gasolina.



Nota: Esta figura muestra el costo del combustible gasolina en el modo de transporte fluvial según los municipios encuestados.

7.1.8 Tiempo de funcionamiento.

Diariamente estos embarcaderos trabajan en la mayoría de los municipios entre 10 y 14 horas,

Figura 23*Horas de transporte.*

Nota: Esta figura muestra las horas de funcionamiento de los embarcaderos según los municipios encuestados.

A partir de los datos obtenidos, se seleccionó el municipio más crítico frente mayores problemáticas y desafíos que presentan para la implementación de mejoras en el transporte fluvial a partir de lo manifestado por la comunidad en las encuestas

Municipio más crítico: Cicuco, Bolívar

7.2 Caracterización del municipio

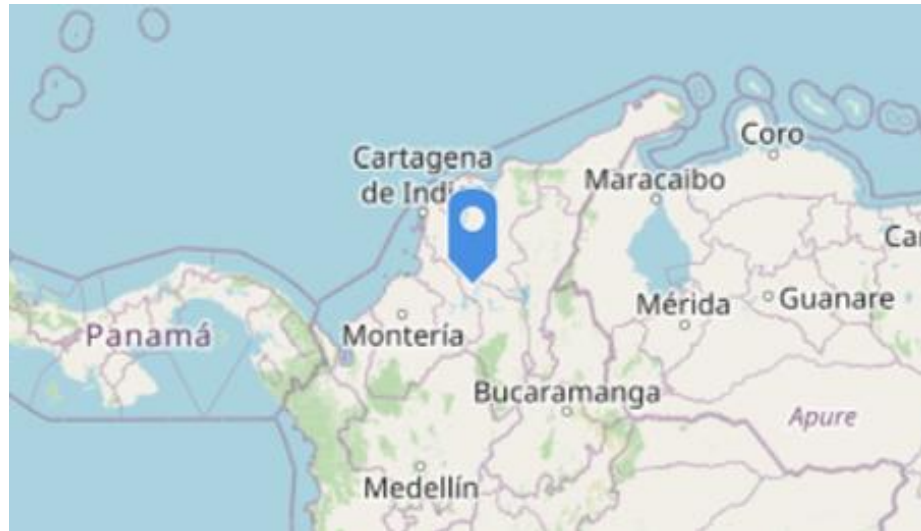
El municipio seleccionado es Cicuco, Bolívar, cuenta con una población de 11.137 habitantes al 2017 (DNP, 2017), se encuentra ubicado en el norte del país, y nació de la unión de los corregimientos de El Limón y Punta de Cartagena (Alcaldía Municipal de Cicuco, Bolívar).

Latitud: 9.179325

Longitud: -74.722778

Figura 24

Ubicación Cicuco, Bolívar.



Nota: Esta figura muestra la ubicación del municipio seleccionado Cicuco, Bolívar obtenida a partir de las encuestas recopiladas.

El cuerpo de agua donde se instalará el embarcadero de este municipio es el río Magdalena, en la actualidad transitan más de 50 embarcaciones Jhonson por día en este municipio, lo que se puede considerar como un flujo alto de transporte fluvial, esta característica hace que este municipio sea elegible para este estudio de caso.

Bajo una revisión exhaustiva y análisis de cada municipio entrevistado se concluyó que Cicuco, Bolívar es el municipio que presenta más adversidades, debido a los siguientes factores:

1. Falta de infraestructura y mantenimiento: No presenta embarcamiento similar al que se piensa instalar, no presenta mantenimiento de ningún tipo, lo que perjudica notoriamente el transporte fluvial.
2. Costos de transporte elevado: Los costos superan los 20.000 COP por persona, relativamente alto a comparación con otros municipios.
3. Precios de la gasolina: Los precios de la gasolina se registran por 20.000 COP por galón, considerado alto a comparación a otras regiones del país, lo que implica un aumento en el costo de vida y el transporte.
4. Descontento de la comunidad: Durante la encuesta se evidencia una percepción negativa por parte de la comunidad hacia el transporte fluvial.
5. Mala calidad de los servicios: Los servicios públicos como acueducto y energía están parcialmente disponibles y es considerado insuficiente para la comunidad. Las condiciones del transporte son críticas debido al mal estado de los caminos y terrenos, lo que lo hace de difícil acceso.

Los desafíos identificados en Cicuco, Bolívar, son numerosos y específicos, y abarcan aspectos críticos de la infraestructura, los costos de transporte, y la dependencia de combustibles fósiles. En primer lugar, la **falta de infraestructura adecuada en los embarcaderos** hace difícil implementar soluciones modernas de transporte fluvial. Los embarcaderos actuales no cuentan con estaciones de carga ni con la infraestructura necesaria para la implementación de **lanchas eléctricas**. Esto representa un desafío, ya que, para que las lanchas puedan operar de manera

eficiente, deben contar con **estaciones de carga eléctrica distribuidas estratégicamente** a lo largo del río Magdalena.

En este contexto, el transporte fluvial tradicional debe evolucionar hacia un modelo más sostenible y eficiente: el **transporte electro-fluvial**.

Si queremos llevar el transporte fluvial de la región a un modelo eléctrico, es necesario implementar la serie de medidas que se han mencionado a lo largo del proyecto. Uno de los problemas principales es la **falta de estaciones de recarga eléctrica** para las lanchas fluviales eléctricas. Actualmente, no existen embarcaderos equipados para albergar las **estaciones de carga** necesarias, por lo que una de las primeras soluciones será la instalación de estaciones de recarga en puntos estratégicos a lo largo del río Magdalena. Estas soluciones no solo ayudarán a reducir los costos operativos y las emisiones de CO₂, sino que también mejorarán la calidad de vida de los habitantes de Cicuco, al integrar energías renovables, crear sistemas de carga eficientes y adaptar normativas de transporte eléctrico aplicables al contexto local.

8. Propuestas de adaptación del sistema Electro-fluvial para Cicuco, Bolívar.

1. Por la falta de infraestructura y mantenimiento de embarcaciones, se propone establecer una mejora de los embarcaderos logrando implementar puntos de carga eléctrica en ellos, para adaptarlos, el apoyo se basará en normas como la ISO 14064-1 o Directiva 2006/66/EC que detallan la instalación y mantenimiento de estaciones de carga eléctrica. Las lanchas eléctricas tendrán puntos de recarga distribuidos en intervalos calculados en función de la autonomía de las embarcaciones, que puede variar entre **50 y 100 kilómetros por carga completa**. Las estaciones estarán diseñadas para poder recargar rápidamente las

lanchas, utilizando tecnologías de **carga rápida** de baterías, que reducirían el tiempo de espera de las embarcaciones entre cada viaje.

Una solución propuesta es instalar paneles solares flotantes sobre el río, que se instalan directamente en el agua y estarían conectados a un sistema de almacenamiento de energía, compuesto por baterías de gran capacidad, que permitirán almacenar la energía generada durante el día y usarla cuando sea necesario, incluso de noche o en días nublados. Este sistema asegurará un suministro continuo de energía sin depender completamente de la red eléctrica local, que en la región es limitada e inestable. Ejemplos de estas tecnologías ya se encuentran en operación en países como Japón y Países Bajos, donde han demostrado su viabilidad en cuerpos de agua interiores (World Bank Report, 2020)

Un ejemplo notable es el proyecto de **Alqueva Solar Fotovoltaica Flotante** en Portugal, que ha probado la eficacia de este tipo de tecnologías en ambientes fluviales:

Figura 25

Solar fotovoltaica flotante en Alqueva.



Nota: Esta figura muestra un ejemplo del modelo de electrificación solar basado en el proyecto de Alqueva en Portugal. (edp.com)

Para asegurar la viabilidad del proyecto, cada estación de recarga estará acompañada de una **planta de almacenamiento de baterías** que permitirá equilibrar la demanda de energía y asegurar que las lanchas puedan recargarse sin interrupciones. Además, los embarcaderos deberán contar con **centros de monitoreo y mantenimiento** de las lanchas, para verificar el estado de las baterías y asegurar su eficiencia operativa. Esta infraestructura incluirá también un sistema de **gestión inteligente de energía**, que optimice el uso de la energía frente a las horas con mayor demanda.

2. En el análisis de costos de transporte, se identifica un ahorro significativo en costos operativos a largo plazo implementando lanchas eléctricas. Las lanchas eléctricas pueden reducir hasta un 50% los costos de operación (Wang et al., 2023). Además, se aprovechará la ley 1715 de 2014, que incentiva el uso de energías renovables en Colombia que a su vez proporciona subsidios para este tipo de proyectos con energía limpias (Wang et al., 2023), lo que puede significar lograr una mayor reducción de costos en el sistema electro-fluvial.
3. Actualmente, el alto costo del transporte fluvial en Cicuco, que supera los 20,000 COP por persona, está directamente relacionado con la dependencia de los combustibles fósiles, con la implementación de este sistema los precios de la gasolina pasaran a ser un segundo plano debido a la eliminación de su dependencia. No solo sus costos operativos se reducirán, también disminuirá las emisiones de CO₂, contribuyendo a la reducción de la huella de

carbono. “Reducción de Emisiones de CO2 mediante Barcos Eléctricos en Sistemas Fluviales, Informe Técnico 2021.”

4. Se deben implementar campañas de sensibilización comunitaria la importancia y los beneficios de este tipo de transporte. La experiencia de Asia (Case Studies on Community Engagement for Electric Mobility, Asia, 2020.) y Europa (Community Education and Acceptance of Electric Transport, Europe, 2021) han demostrado que el éxito del proyecto va de la mano con la aceptación de la comunidad, por esta razón la sensibilización debe ser clara y directa con los beneficios a largo plazo.
5. Como solución a la mejora de servicios públicos se debe ampliar el acceso de electricidad con ayuda de las lanchas eléctricas, las cuales pueden funcionar como generadores móviles, proporcionando energía en puntos estratégicos. Siguiendo los pasos y ejemplo de Asia, pueden implementarse tecnologías de comunicación satelital “*Satellite Communication Systems in Rural Asia, 2020.*” y sistema de conectividad flotante, mejorando el acceso a internet en estas áreas ribereñas.

9. Conclusiones

Implementar un sistema electro-fluvial en Cicuco, Bolívar, implica superar los desafíos como su infraestructura, altos costos y su reducido acceso a los servicios públicos. Sin embargo, con la implementación de los recursos analizados durante el proyecto es posible transformar el transporte fluvial en uno electro-fluvial, favoreciendo su sostenibilidad y economía, haciéndolo un proyecto viable y siendo un punto importante de referencia para aplicarse en múltiples municipios de Colombia que presentan situaciones similares.

La investigación demostró que la mejora en infraestructuras y la accesibilidad fluvial mediante uso de embarcaciones eléctricas es viable y sostenible. La propuesta de instalar estaciones de recarga alimentadas por paneles solares flotantes lo demuestra. Lo que al final mejora la conexión entre zonas ribereñas, reducción de costos y mayor accesibilidad.

Al analizar la viabilidad económica y técnica de las tecnologías fluviales eléctricas se concluyó que, aunque el costo inicial de electrificación puede ser elevados, los ahorros a largo plazo son significativos, reduciendo los costos hasta un 50%, lo que va de la mano con los incentivos fiscales, dejando un sistema atractivo para operadores locales.

Se identificaron vacíos en la normativa fluvial en Colombia, la falta de disposiciones para el transporte electro fluvial en el Decreto 1079 de 2015. Sin embargo, se identificaron bases sólidas para adaptarse a Colombia como la **Directiva 2006/66/EC** sobre la gestión de baterías y la **ISO 14064**. Las experiencias internacionales muestran que la aceptación de la comunidad es clave para el éxito de la electrificación del transporte fluvial. Por ello, se propone informar a los habitantes sobre los beneficios que traen a nivel ambiental y económico.

Uno de los principales desafíos en la implementación del transporte electro-fluvial utilizando paneles solares como fuente de energía será garantizar su mantenimiento adecuado. Los paneles solares, al estar expuestos a las condiciones ambientales de los ríos y cuencas fluviales, requieren un monitoreo constante para asegurar su eficiencia operativa. Factores como la acumulación de sedimentos, la variabilidad del clima y la presencia de fauna pueden afectar el rendimiento de los paneles.

El mantenimiento regular de estos sistemas será clave, ya que cualquier falla en su limpieza o en los componentes eléctricos podría reducir significativamente la capacidad de generación de energía. Adicionalmente, es importante implementar estaciones de monitoreo y diagnóstico que permitan detectar problemas en tiempo real y realizar ajustes antes de que impacten la operación.

Este desafío también está ligado a la capacitación del personal local en tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, dado que las comunidades en áreas remotas suelen tener acceso limitado a especialistas técnicos. Por lo tanto, será crucial diseñar un sistema de mantenimiento robusto y sostenible que se apoye en tecnologías de monitoreo remoto y un plan de formación para los habitantes de la región, permitiendo que el sistema opere de manera continua y eficiente.

La planificación adecuada de este mantenimiento y la logística asociada será fundamental para garantizar que los beneficios a largo plazo de la energía solar puedan ser aprovechados en su totalidad, convirtiéndose en un punto clave para el éxito del proyecto.

Referencias Bibliográficas

Agencia Nacional de Infraestructura, Resolución 315 de 2021, Colombia.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=142723>.

Alcaldía Municipal de Cicuco, Bolívar “RESEÑA HISTORICA DE CICUCO”
<https://www.cicuco-bolivar.gov.co/municipio/resena-historica-de-cicuco>

Alvarado, D., Amor, K., Arrieta, M., Castaño, A., Yarzagaray, B., & Vásquez, O. (2023). Diseño funcional y pruebas de desempeño de un prototipo de bote eléctrico no tripulado para vigilancia y reconocimiento fluvial. [Functional design and trial tests of an unmanned electric surface vehicle for riverine surveillance and reconnaissance missions] Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação, , 289-302. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/diseño-funcional-y-pruebas-de-desempeño-un/docview/2880949551/se-2>.

Andrade, C. S., Rosa, L. P., & Da Silva, N. F. (2010). Generation of electric energy in isolated rural communities in the Amazon Region a proposal for the autonomy and sustainability of the local populations. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 15(1), 493-503.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.052>

Arrieta, M. P., Castaño, A.M., Marrugo, C., & Mendoza, R. R. (2022). Integración de una microrred solar fotovoltaica al sistema eléctrico de un buque de apoyo logístico y cabotaje liviano BALC-L. [Integration of a solar photovoltaic microgrid to the electrical system of a Light Logistics Support vessel BALC-L 1] Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação, , 65-79. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/integración-de-una-microrred-solar-fotovoltaica/docview/2714753853/se-2>

- Barrera, J. G. (2023). Estrategia para reactivar el transporte fluvial en el río Meta y articular el transporte multimodal en el oriente colombiano. [Tesis de maestría, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/12539>
- Bennabi, N., Charpentier, J. F., Menana, H., Billard, J. Y., & Genet, P. (2016). Hybrid propulsion systems for small ships: Context and challenges. International Conference On Electrical Machines (ICELMACH). <https://doi.org/10.1109/icelmach.2016.7732942>
- Blumensaat, C., Li, G. Z., Lee, H. T. and Fleckenstein, J. H., "Data, knowledge, and modeling challenges for river delta management," *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 14, p. 100090, Sep. 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332223000908>.
- Breuer, J., Scholten, J., Koj, J., Schorn, F., Fiebrandt, M., Samsun, R., Albus, R., Görner, K., Stolten, D., & Peters, R. (2022). An Overview of Promising Alternative Fuels for Road, Rail, Air, and Inland Waterway Transport in Germany. *Energies*, 15(4), 1443. <https://doi.org/10.3390/en15041443>
- Castro-Sitiriche, M. J., & Ndoye, M. (2013). On the Links between Sustainable Wellbeing and Electric Energy Consumption. *African Journal Of Science Technology Innovation And Development*, 5(4), 327-335. <https://doi.org/10.1080/20421338.2013.809279>
- Congreso de la República de Colombia, Ley 1715 de 2014. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53547>
- Cormagdalena, 30 de agosto de 2024, "Informe de gestión 2023". <https://cormagdalena.gov.co/download/160691/?tmstv=1727404552&v=160693>
- Corredor, N. L., Baracaldo, N. L., Jaramillo, N. L., Gutiérrez, N. J., & Jiménez, N. D. (2017). A comprehensive energetic analysis of a hybrid motorization of small/medium boats.

Renewable Energy And Power Quality Journal, 10(12).

<https://doi.org/10.24084/repqj10.789>

Diario Oficial de Colombia, 2015, Decreto 1079 de 2015, “Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte”.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>.

DNP, Departamento Nacional de Planeación, 2017, “Ficha de caracterización territorial Cicuco, Bolívar”.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/FIT/PDF/13188.pdf>

edp.com, “Solar fotovoltaica flotante en Alqueva”. <https://www.edp.com/es/historias-edp/alqueva-solar-fotovoltaica-flotante>

Feng, Y., Dai, L., Yue, M., Hu, H., & Fang, S. (2024b). Assessing the decarbonization potential of electric ships for inland waterway freight transportation. *Transportation Research Part D Transport And Environment*, 129, 104151. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104151>

Giraldo-Perez, E., Gaviria, G., Betancur, E., Osorio-Gomez, G., & Mejia-Gutierrez, R. (2020). Influence of energy consumption on battery sizing of electric fluvial vessels: a Colombian Case Study. 2020 Fifteenth International Conference On Ecological Vehicles And Renewable Energies (EVER), ResearchGate.

<https://doi.org/10.1109/ever48776.2020.9243037>

Girard, P., De Oliveira Roque, F., De Sousa, W. C., & Hamilton, S. K. (2024). Expansion of fluvial transport of commodities through the Pantanal floodplains of Brazil: Potential impacts and interference by climate change. *Conservation Science And Practice*.

<https://doi.org/10.1111/csp2.13126>.

- Guellard, B., De Montgros, X., De la Barriere, P. P., Wolfensberger, G., & D'oliveira, P. (2013). An overview of electric and solar boats market in France. *2013 World Electric Vehicle Symposium And Exhibition (EVS27)*. <https://doi.org/10.1109/evs.2013.6915050>
- Hu, Q., Gu, W., & Wang, S. (2021). Optimal subsidy scheme design for promoting intermodal freight transport. *Transportation Research Part E Logistics And Transportation Review*, *157*, 102561. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102561>
- International Electrotechnical Commission, 2022, IEC 62619:2022 - Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications. <https://webstore.iec.ch/publication/66225>.
- International Organization for Standardization, 2006, ISO 14040:2006 - Gestión Ambiental — Evaluación del Ciclo de Vida — Principios y Marco. <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- International Organization for Standardization, 2021, ISO 12405-4:2021 - Electrified Road Vehicles — Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems — Part 4: Performance testing. <https://www.iso.org/standard/78492.html>.
- International Organization for Standardization, 2022, ISO 17840:2022 - Road Vehicles — Information for first and second responders. <https://www.iso.org/standard/72437.html>.
- Khosravi, K., Farooque, A. A., Bateni, S. M., Jun, C., Mohammadi, D., Kalantari, Z., & Cooper, J. R. (2024). Fluvial bedload transport modelling: advanced ensemble tree-based models or optimized deep learning algorithms? *Engineering Applications Of Computational Fluid Mechanics*, *18*(1). <https://doi.org/10.1080/19942060.2024.2346221>.

- Li, X., Fan, Y., & Wu, L. (2017). CO₂ emissions and expansion of railway, road, airline and inland waterway networks over the 1985–2013 period in China: A time series analysis. *Transportation Research Part D Transport And Environment*, 57, 130-140. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.008>
- Liu, X., Mishra, D. D., Li, Y., Gao, L., Peng, H., Zhang, L., & Hu, C. (2021). Biomass-Derived Carbonaceous Materials with Multichannel Waterways for Solar-Driven Clean Water and Thermoelectric Power Generation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(12), 4571-4582. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c09177>
- Lozano, C. A. M., Superintendencia De Transporte, (Feb. 15, 2023). “Caracterización de la Infraestructura, la Operación Portuaria y el Transporte Fluvial en Colombia”. <https://www.supertransporte.gov.co/index.php/superintendencia-delegada-de-puertos/caracterizacion-fluvial-de-colombia-2022/>
- Ministerio de Transporte, Colombia, Resolución 2400 de 2019. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=94111>.
- Ministerio de Transporte, Decreto 1623 de 2020, Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=144372>.
- Ministerio de transporte, 2023 “TRANSPORTE EN CIFRAS 2023.”. <https://mintransporte.shinyapps.io/transporteencifrasapp/>.
- Ministerio de transporte, feb. 2005, “Caracterización del Transporte en Colombia Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura”. <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/346/bases-de-datos/descargar.php?id=455>

Ministerio de transporte, Oficina de regulación económica, “Diagnostico de la regulación económica en infraestructura y transporte en cada uno de los modos de transporte carga y pasajeros”, Bogota D.C, dic 2010.

Ministerio de transporte, “Plan Maestro Fluvial. PMF”, <https://onl.dnp.gov.co/Paginas/Plan-maestro-fluvial.aspx>

Ministerio de transporte, “Plan Maestro Transporte Intermodal PMTI.”, <https://onl.dnp.gov.co/Paginas/Plan-Maestro-Transporte-Intermodal-PMTI.aspx>

Parlamento Europeo, 2006, Directiva de la Unión Europea 2006/66/EC sobre Pilas y Acumuladores y sus Residuos. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32006L0066>.

Presidencia de la República, Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, Colombia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/PND-2022-2026.pdf>.

Quintero González, J. R., Ramírez Sosa, Y. A. y Cortázar Ávila, A. M. (2020). Transporte fluvial en Colombia: operación, infraestructura, ambiente, normativa y potencial de desarrollo. *Revista ciudades, estados y política*, 7(1). <https://doi.org/10.15446/cep.v7n1.72778>

RAP PACÍFICO Región Administrativa y de planificación del pacífico, “TRANSPORTANDO VIDA A TRAVÉS DEL AGUA”. <https://rap-pacifico.gov.co/wp-content/uploads/2022/09/FORO-TRANSPORTANDO-VIDA-A-TRAVES-DEL-AGUA.pdf>

Santos, M. E. M. D., Castro, R., & Costa, H. (2023). Contradictory electric energy policies and its impacts on the renewability of the electric matrix: Brazil as a case study. *Heliyon*, 9(10), e19309. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19309>.

- ScienceDirect, "Assessing policy frameworks for electric ships in Asia", 2023.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123002115>.
- Superintendencia de transporte (2018, julio). "Situación de la Infraestructura y el transporte Fluvial en Colombia. Prospectiva".
https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2021/Julio/Puertos_19/Situacion-de-la-Infraestructura-y-el-Transporte-Fluvial-en-Colombia-2018.pdf
- Vélez, C., & Montoya, A. (2023). The fluvial passenger transport design problem with an electric boat. *Case Studies on Transport Policy*, 12, 100972.
<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.100972>.
- Vilarinho, A., Liboni, L. B., & Siegler, J. (2019). Challenges and opportunities for the development of river logistics as a sustainable alternative: a systematic review. *Transportation Research Procedia*, 39, 576-586.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.059>
- Villa, D., Montoya, A., & Herrera, A. M. (2020). The electric Riverboat charging station location problem. *Journal Of Advanced Transportation*, 2020, 1-16.
<https://doi.org/10.1155/2020/6527924>
- Wang, Y., Qiu, D., Sun, M., Strbac, G., & Gao, Z. (2023). Secure energy management of multi-energy microgrid: A physical-informed safe reinforcement learning approach. *Applied Energy*, 335, 120759. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120759>
- World Bank Report, 2020, Floating Solar Power Plant: A Case Study in Japan.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/670101560451219695/pdf/Floating-Solar-Market-Report.pdf>.

- Yuan, Y., Ye, T., Tong, L., Yuan, C., & Teng, L. (2023). Optimizing energy management strategies for hybrid electric ships based on condition identification and model predictive control. *International Journal Of Green Energy*, 20(15), 1763-1775. <https://doi.org/10.1080/15435075.2023.2194376>
- Zapata-Campo, E. ., Rico-Carrillo, K. ., Salazar-Arrieta, F. ., Paipa-Sanabria, E. ., & Zapata-Cortes, J. . (2024). Study of Technological Surveillance in Electric River Mobility for Cargo Transport on the Atrato River, Colombia. *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy*, 13, 1–9. <https://doi.org/10.6000/1929-6002.2024.13.01>

Apéndices

Apéndice A. Formularios de diagnóstico y conocimiento del entorno en los embarcaderos

Apéndice B. Revisión de artículos científicos y normativas.

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS