

**ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO LOGÍSTICO DEL RÍO SINÚ COMO
UNA ALTERNATIVA AL TRANSPORTE DE CARGA EN EL
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA**



CARLOS CORDERO RODRÍGUEZ

ANDRÉS SÁNCHEZ ARROYO

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MONTERÍA, CÓRDOBA

2021.

**ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO LOGÍSTICO DEL RÍO SINÚ COMO
UNA ALTERNATIVA AL TRANSPORTE DE CARGA EN EL
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA**

CARLOS CORDERO RODRÍGUEZ

ANDRÉS SÁNCHEZ ARROYO

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de Investigación y/o Extensión
según la Resolución 007 de 2008, como requisito parcial para optar al Título de
Ingeniero Industrial.**

Director:

JORGE OYOLA MENDOZA, Ph.D.

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MONTERÍA, CÓRDOBA

2021.

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 61, Acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del Consejo Superior.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Quiero dedicarle este logro a Dios por permitirme seguir adelante y haber conseguido un objetivo más en mi vida personal.

A mi padre Mario Elías Cordero y a mi madre Lesvia Gisela Rodríguez que me han apoyado en todo momento y que gracias a su esfuerzo y sacrificio he logrado ser una persona con principios y valores.

A mis amigos y compañeros que han estado allí en los momentos más difíciles, brindándome consejos y aliento para seguir adelante.

A mis docentes que tanto me han enseñado para formarme como un profesional íntegro.

A todas aquellas personas que creyeron y me dieron moral, que confiaron y dieron fe en el desarrollo de esta investigación, gracias por su apoyo y compañía.

Carlos Mario Cordero Rodríguez

*Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios, por permitirme alcanzar este punto de mi vida,
por hacer posible cumplir un logro más.*

*A mis padres, Walberto Sánchez y Belvis Arroyo, por el apoyo, amor incondicional y sacrificio que
han brindado a lo largo de este camino universitario para convertirme en profesional, así como a
familiares cercanos que aportaron su granito de arena en todo el trayecto.*

*A mis compañeros y amigos por haber estado en este recorrido como soporte, y brindar alegrías en los
momentos de triunfos.*

A los docentes por sus enseñanzas, a la universidad porque ha sido una casa de aprendizaje para mí.

*Y por último una dedicatoria especial a Isabella Campo, una persona que me apoyo en estos últimos
meses a seguir adelante en momentos difíciles.*

Andrés Felipe Sánchez Arroyo

Agradecimientos

Primero que todo dar gracias Dios por guiarnos en nuestro camino, por su compañía y sus bendiciones. Gracias a nuestros Padres, hermanos y amigos que nos apoyaron en todo momento, sin ellos no habría sido posible lograr este objetivo alcanzado.

A los docentes por su esmero y cariño a su profesión, por permitir formarnos como grandes profesionales y personas integras. A la Ingeniera Heidi Echeverri por sus instrucciones y consejos respecto al cuidado del medio ambiente y preservación del hábitat para el desarrollo de la investigación.

Especial agradecimiento nuestro Profesor y Director de Tesis PhD Jorge Oyola por ser guía en el proceso de investigación, a su gran dedicación y empeño para lograr los resultados deseados. También por instruirnos durante 4 años sus conocimientos y experiencias, y por ser un gran ejemplo de persona.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
3.	OBJETIVOS	7
3.1	GENERAL	7
3.2	ESPECÍFICOS	7
4.	JUSTIFICACIÓN	7
5.	MARCO TEÓRICO	10
5.1	TRANSPORTE FLUVIAL EN COLOMBIA	12
5.2	FINANCIAMIENTO DEL TRANSPORTE FLUVIAL EN COLOMBIA	13
5.3	RÍO SINÚ EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA	14
5.3.1	COMPORTAMIENTO DEL RÍO SINÚ ANTES Y DESPUES DEL EMBALSE DE URRÁ	18
5.4	PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL RÍO SINÚ	20
5.4.1	VELOCIDAD, PROFUNDIDAD Y SEDIMENTACIÓN	20
5.4.2	DEPÓSITOS DE ESCOMBROS POR EROSIÓN HÍDRICA	21
5.4.3	ESFUERZO CORTANTE	22
5.4.4	LIMITACIONES EN LA NAVEGACIÓN DEL RÍO SINÚ	23
5.5	IMPACTO AL ECOSISTEMA DE LA NAVEGACIÓN	24
5.5.1	RUIDO PRODUCIDO POR EMBARCACIONES	26
5.5.2	EMISIÓN DE LUZ ARTIFICIAL EN AGUAS	27
5.5.3	EROSIÓN DE ORRIENTES Y OLAS	28
5.6	IMPACTO AMBIENTAL DEL MODO CARRETERO	29
5.6.1	ATROPELLO DE ANIMALES	30
5.6.2	RUIDO EN LAS CARRETERAS	30
5.6.3	INDICE DE ACCIDENTES EN CARRETERA	31
5.7	BARCAZAS PARA TRANSPORTE DE MERCANCÍAS	32
5.7.1	EMBARCACIÓN SOSTENIBLE	34
5.8	MARCO LEGAL	35
5.8.1	REGLAMENTO PARA EMBARCACIONES	36
5.8.2	MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	37
6.	METODOLOGÍA	38

6.1	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	38
6.2	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	39
6.3	CÁLCULO DE EMISIÓN DE CO ₂	40
6.3.1	CÁLCULO DE CO ₂ EN EL MODO TERRESTRE	41
6.3.2	CÁLCULO DE CO ₂ DEL MODO ACUÁTICO	41
6.4	CÁLCULO DE COSTOS OPERACIONALES	43
6.4.1	CÁLCULO DE COSTO OPERACIONAL DEL MODO TERRESTRE.	43
6.4.2	CÁLCULO DE COSTO OPERACIONAL DEL MODO ACUÁTICO.	44
7.	RESULTADOS.....	46
7.1	EMISIÓN DE CO ₂ DEL MODO TERRESTRE	46
7.2	EMISIÓN DE CO ₂ DEL MODO ACUÁTICO.....	47
7.3	COSTO OPERACIONAL DEL MODO TERRESTRE.....	50
7.4	COSTO OPERACIONAL DEL MODO ACUÁTICO	51
7.5	COSTO DE CONTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	52
8.	CONCLUSIONES	53
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resultados Encuesta Logística en Montería para empresas (en porcentaje).....	5
Tabla 2.	Inversión pública en el sector de transporte en porcentaje.....	13
Tabla 3.	Población del medio y bajo Sinú por municipios.....	15
Tabla 4.	Propiedades hidrográficas del medio-bajo Sinú por municipios.....	21
Tabla 5.	Criterios de amenaza por erosión.....	21
Tabla 6.	Puntos críticos por erosión en municipios (2014).....	22
Tabla 7.	Histórico de rangos de profundidad del río Sinú por puntos de control.....	24
Tabla 8.	Características de algunas especies focales de la CVS	26
Tabla 9.	Accidentes de transporte según medio de desplazamiento (2017).....	32
Tabla 10.	Características de las rutas	40
Tabla 11.	Características por Embarcación Fluvial.....	42
Tabla 12.	Costos Operativos del transporte marítimo.....	44
Tabla 13.	Emisión de CO ₂ en ruta A1 por Tierra.....	46
Tabla 14.	Emisión de CO ₂ en ruta A2 por Tierra.....	46
Tabla 15.	Emisión de CO ₂ en ruta B1 por Tierra.....	47
Tabla 16.	Emisión de CO ₂ en ruta B2 por Tierra.....	47
Tabla 17.	Emisión de CO ₂ en ruta Desembocadura a Cartagena (A1).....	47
Tabla 18.	Emisión de CO ₂ en ruta Cartagena a Desembocadura (A2).....	47
Tabla 19.	Emisión de CO ₂ en ruta A1 por Agua con 1192,89 T.M de Demanda.....	48
Tabla 20.	Emisión de CO ₂ en ruta A2 por Agua con 7447,32 T.M de Demanda.....	48

Tabla 21. Emisión de CO ₂ en ruta B1 por Agua con 151 T.M de Demanda.....	49
Tabla 22. Emisión de CO ₂ en ruta B2 por Agua con 14,5 T.M de Demanda.....	49
Tabla 23. Diferencia entre la emisión del modo acuático respecto al modo terrestre en kgCO ₂	49
Tabla 24. Costo operacional en ruta A1 por tierra.	50
Tabla 25. Costo operacional en ruta A2 por tierra.	50
<i>Tabla 26.</i> Costo operacional en ruta B1 por tierra.	51
<i>Tabla 27.</i> Costo operacional en ruta B2 por tierra.	51
Tabla 28. Costo operacional en ruta A1 por agua.	51
Tabla 29. Costo operacional en ruta A2 por agua.	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Departamento de Córdoba, Municipios y Cuencas Fluviales (IGAC).....	9
Ilustración 2. Lancha DAMASCO transportando pasajeros y mercancías por el río Sinú [14].....	10
Ilustración 3. Vapor que navegaba por el río Sinú [15].	10
Ilustración 4. Puerto de Atraque, Montería-Córdoba (1938) [15].....	10
Ilustración 5. Puerto Atraque, al fondo el edificio Kerguelén (calle 34) [15].....	10
Ilustración 6. Río Sinú, Zonas y recorrido[20].....	14
Ilustración 7. Condiciones del esfuerzo cortante en el flujo del río Sinú [2].	23
Ilustración 8. Partes de una Barcaza[100].	33
Ilustración 9. Baterías en Forma de Contenedores (ZESPCKS)[70].....	34
Ilustración 10. Barcaza EC52 (PortLiner) [72].	35

RESUMEN

En este documento se analiza la factibilidad de usar el transporte fluvial por el río Sinú como un mecanismo para reactivar la economía y mejorar el desempeño logístico de la región. Teniendo en cuenta que la práctica del transporte de carga por la cuenca se ha visto mermada por el desarrollo del transporte terrestre y cambios ocurridos en el río, se tiene como objetivo evaluar la viabilidad del uso de la cuenca hídrica como medio de transporte, buscando un impacto positivo en los indicadores logísticos.

Se plantea desarrollar una propuesta de transporte fluvial donde se busque minimizar los costos y tarifas, que sea más amigable con el medio ambiente respecto a la emisión de gases de efecto invernadero y que tenga como mínimo la misma eficiencia respecto al transporte terrestre. Para ello, se realiza una comparativa entre el modo de transporte carretero y el modo de transporte acuático (fluvial-marítimo) para determinar su viabilidad, tanto en términos económicos como en términos ambientales. Los resultados reflejan una baja emisión de CO₂ en el transporte acuático, dos de las tres embarcaciones utilizadas como muestra afectan en menor medida al medio ambiente respecto al transporte terrestre; económicamente, el transporte acuático muestra ventajas competitivas frente al transporte terrestre por las bajas tarifas que esta ofrece.

Palabras clave: Transporte fluvial, logística, río Sinú, aprovechamiento, minimizar costos, impacto ambiental.

ABSTRACT

In this report the feasibility of the freight transportation along the Sinú River as an alternative to improve the region's logistical performance is analyzed. Taking into account that the amount of cargo transportation along of the river has been reduced in the last decades, due to the development of road transportation and changes in the River morphology, the objective is to evaluate the viability of using the river as a transportation route to improve Cordoba's logistics.

The idea is to develop a proposal for river transportation that minimizes operational and service cost, and more environmentally friendly in terms of greenhouse gas emissions, and at least as efficient as the road transportation.

Finally, a comparison is made between modes of transportation, road and water (river-sea) to determine their viability, in both economic and environmental terms. The results obtained indicate low CO₂ emissions in water transportation; two out of the three vessels used as a sample have a lower impact on the environment compared to road transportation; economically, water transportation has competitive advantages over road transportation due to the lower operational cost.

Keywords: River transportation, logistics, Sinú River, optimization, cost minimization, environmental impact.

1. INTRODUCCIÓN

La navegación por ríos es una actividad que se ha realizado por muchos años en las civilizaciones para actividades de comercio y transporte, y no es la excepción para la región cordobesa[1]. En épocas de antaño se realizaban actividades transporte hacia ciudades principales como Barranquilla y Cartagena por medio de la cuenca hídrica más importante de la región, el río Sinú [1].

Con el desarrollo del transporte terrestre y cambios físicos del río Sinú, la navegación se vio mermada a finales del siglo XX al punto que su uso en la actualidad es principalmente de carácter turístico[2]. Por otra parte, el uso de camiones para fines comerciales no ha logrado ser muy eficiente debido a factores asociados al estado de las vías y la flota de transporte, como consecuencia se obtienen los altos costos logísticos presentes en la región. Esto afecta parcialmente al valor de bienes transportados[3].

A partir de esta situación, el optar por el retorno de la navegación podría ser una alternativa de transporte. Pero para llevar a cabo este planteamiento, primero se debe evaluar la viabilidad de este modo de transporte en el escenario actual.

Esto lleva a plantear varias preguntas:

- ¿Cómo podría contribuir el uso del río Sinú como un medio de transporte para solucionar los problemas logísticos presentes en la región?
- ¿Qué se necesita para reactivar e implementar el transporte por el río Sinú?
- ¿Qué tan factible, en términos económicos y/o ambientales, es la implementación del transporte fluvial en la región?

En los siguientes capítulos se intentará dar respuesta a estas preguntas, se hablará de la situación actual del transporte fluvial en Colombia y en la región, además, de las

condiciones en las que se encuentra el río Sinú y las variaciones que ha tenido a lo largo de los años. Por último, se hace una comparativa del modo de transporte carretero y el modo de transporte acuático en términos económicos y ambientales, teniendo en cuenta la flota de transporte de cada modo.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, según los resultados de la Encuesta Nacional Logística (ENL) en 2018, el departamento de Córdoba en conjunto con el departamento de Sucre no cuenta con un desempeño logístico eficiente [3]. La mala infraestructura vial, el poco uso de tecnologías y los altos costos logísticos que presenta la región del Caribe Occidental (Departamentos de Córdoba y Sucre), muestran un índice logístico regional bajo respecto a la media nacional con una valoración de 1.5/5.0[3]. En la encuesta se da a conocer un costo logístico, como porcentaje de ventas del 37% en la región, este porcentaje es mucho más alto que el promedio nacional (13.5%), siendo el segundo más alto solo por debajo de la región de Orinoquía (38.1%)[3].

Los programas de formación en logística, en la región cordobesa, son relativamente nuevos. Según una búsqueda realizada en la plataforma del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES), el primero de estos programas inició en el 2015 [4], esto podría tener un impacto negativo en el índice logístico nacional, si como resultado de ello se ha generado una baja oferta de personal capacitado para realizar actividades logísticas [3].

El desempeño logístico en Montería, según una encuesta realizada en 2017 en la que participaron 298 empresas, se observa en la *Tabla 1*. En ella se puede ver el grado de compromiso que tienen dichas empresas respecto a su gestión logística [5]. Según los

resultados de la encuesta, se da a conocer que la mayoría de las empresas monterianas están inconformes en el uso de indicadores logísticos para la recolección de información. Se observa que los indicadores donde hay menor inconformidad, son los que están relacionados en la medición, control y cumplimiento de tiempos de entrega [5].

Adicionalmente a esta problemática, en cuanto al transporte de carga, presenta problemas de abastecimiento de materias primas en zonas rurales. Las empresas grandes que tienen flota de transporte, solo el 30% realizan transporte por zonas aledañas, situación que puede verse justificada por el mal estado de las vías, donde la carga puede sufrir daños por movimientos bruscos, largos tiempos de espera e influencia de bandas criminales[3]. En la mayoría de las veredas (zonas rurales) es todo un reto sacar la producción de los cultivos[6].

Tabla 1. Resultados Encuesta Logística en Montería para empresas (en porcentaje).

ALTERNATIVA	Medición y control los tiempos de entrega en un periodo determinado	Eficiencia en pedidos completos a tiempo, con documentación perfecta y sin daños a la mercancía	Gestión de información interna al momento que requiera el sistema logístico	Cumplimiento con los tiempos de entrega y calidad del producto suministrado	Cumplimiento con canales de comunicación, atención del personal, repuesta a solicitudes y grado de satisfacción
Totalmente en desacuerdo	27%	23%	42%	20%	37%
En desacuerdo	20%	27%	26%	27%	27%
Indeciso	7%	7%	13%	7%	9%
De acuerdo	33%	9%	10%	30%	13%
Totalmente de acuerdo	13%	33%	8%	16%	14%

Fuente: Modelo de gestión de servicios logísticos especializados para las empresas comerciales de la ciudad de Montería, Córdoba (Colombia), 2017[5].

Teniendo en cuenta los medios de transporte más comunes en el país, en cuanto a su participación, menos del 1% del total de la carga transportada se realiza por vías fluviales, seguido del 16% en transporte aéreo y el transporte terrestre con un 84% [7]. Para el año 2015 según el Plan Maestro Fluvial (PMF), el volumen de carga transportada en los ríos colombianos es limitado respecto a otros países y otros modos de transporte, y el manejo de la información de las cuencas fluviales es muy escaso y está desactualizado en comparación con los Servicios de Información Fluvial (SIF) en Europa. Se desconocen a ciencia cierta las condiciones en las cuales se encuentran los ríos nacionales hoy en día[8].

Teniendo en cuenta que el río Sinú fue utilizado como medio de transporte a finales del siglo XIX y que en aquel entonces se disponía de barcazas que salían por la desembocadura, llegaban al Mar Caribe y navegaban hasta Cartagena [1], se busca analizar la posibilidad de retomar el uso del río como una opción sostenible para labores de transporte, considerando el impacto que esta nueva opción puede tener en los indicadores de desempeño del Departamento de Córdoba.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

- Evaluar la viabilidad del río Sinú como medio de transporte fluvial, con el propósito de plantear alternativas para mejorar el nivel actual de desempeño logístico en la región cordobesa.

3.2 ESPECÍFICOS

- Valorar el uso potencial del río Sinú para transporte fluvial de mercancías, dadas las características físicas presentes.
- Evaluar la factibilidad del río Sinú como medio de transporte fluvial de mercancías en términos económicos y ambientales.
- Identificar el tipo de inversiones necesarias para convertir el río Sinú en una arteria fluvial.

4. JUSTIFICACIÓN

En busca de mejorar las condiciones de transporte en Córdoba, se plantea desarrollar una propuesta de un sistema de transporte fluvial que pueda minimizar los costos y tarifas de transporte; como por ejemplo, el transporte fluvial-marítimo implementado en Shanghái (China), en donde la carga es transportada por el río y luego es transbordada a buques marítimos [9].

Con la finalidad de mejorar el desarrollo logístico se plantean propuestas de optimizar el transporte mercancías en la región de Córdoba, mediante barcazas que naveguen por el medio-bajo Sinú hasta su desembocadura en San Bernardo del Viento y de allí, por vía marítima, un paso directo hacia el puerto de Cartagena.

El modo fluvial en comparación con otros medios de transporte, es considerado como uno de los más sostenibles al influir en menor medida sobre medio ambiente [10] y sin dejar de satisfacer las necesidades del mercado [11]. Es un tipo de transporte amigable el cual emite menor cantidad de gases (huella ambiental) en comparación con los demás medios de transporte a motor, este es un aspecto de la gestión de la cadena de suministro que hace parte de lo que hoy en día se conoce como *Green Logistics (GL)* o Logística Verde[12].

Con la creación de un transporte intermodal se posibilita el acceso a zonas rurales y urbanas difíciles de transitar por congestión de automóviles o por vías en mal estado, esto favorece a empresas que tengan necesidad de suplir demandas y/o expandir su mercado. Gracias a la vía libre que tiene la cuenca para llegar a un punto de destino mediante puertos o un centro logístico, es una buena opción para evitar retrasos por flujo vehicular asociados directamente a la rutina de los ciudadanos y empresas [8].

La presencia de un sistema de transporte más eficiente en el departamento de Córdoba beneficiaría distintos actores. El Estado se beneficiaría por aumentar el desempeño y desarrollo en infraestructura y comercio; la población tendría acceso a otro medio de transporte municipal e intermunicipal, y las empresas con la posibilidad de mejorar la eficiencia en cuanto a su distribución y abastecimiento; por ejemplo, en Puerto Salgar - Cundinamarca, el impacto económico de la construcción de una plataforma intermodal que involucra el cambio de transporte de tierra a río, redujo los costos entre 10% y 50% en comparación con los costos de transporte tradicional (terrestre)[13].

El río Sinú cruza por varios municipios de la región Cordobesa (*ver ilustración 1*), por lo tanto, el sistema fluvial podría facilitar el transporte de productos regionalmente y la



Ilustración 2. Lancha DAMASCO transportando pasajeros y mercancías por el río Sinú [14].



Ilustración 3. Vapor que navegaba por el río Sinú [15].



Ilustración 4. Puerto de Atraque, Montería-Córdoba (1938) [15].



Ilustración 5. Puerto Atraque, al fondo el edificio Kerguelén (calle 34) [15].

La investigación evaluará el uso de la navegación fluvial, como una alternativa de transporte que pueda mejorar el bajo rendimiento del desempeño logístico en la región. Se evaluará el potencial uso del río Sinú bajo la implementación de un transporte intermodal en la región cordobesa, teniendo en cuenta que cada río tiene condiciones y comportamientos diferentes. Se evaluará la situación actual del río Sinú para verificar de manera directa las circunstancias técnicas que presenta a lo largo de su recorrido.

5. MARCO TEÓRICO

El transporte fluvial es un modo de transporte que permite la movilización de bienes y personas por medio de vías navegables como ríos y canales, este está catalogado como un transporte competitivo y ecológico [8]. Globalmente es un transporte que opera en el interior de los países, esto es un concepto que es reconocido como “*Inland Waterway*

Transport”, así mismo, este tipo de transporte facilita el acceso de bienes entre zonas urbanas y rurales, mejorando el flujo de mercancías y prestaciones de transporte público.

Un ejemplo práctico es el río Vístula en Polonia, en el que se busca crear una red de centros logísticos a lo largo de la cuenca de tal forma que la ruta esté conectada con carreteras y vías ferroviarias para generar un transporte intermodal. Esto da como resultado una mayor flexibilidad en la toma de rutas, generando mayores beneficios. Para su factibilidad, se tomaron ciertos criterios como las condiciones económicas, protección ambiental, requisitos legales e inversiones, relacionando los costos de la aplicación y demanda real del mercado [16].

Adicionalmente requiere de una inversión plurianual con el propósito de cumplir con los estándares mínimos de CEMT (Conferencia Europea de Ministros de Transportes) mediante la rehabilitación de vía acuática, obras de regulación y finalmente canalización del río a través de etapas de construcción y centrales hidroeléctricas[16].

Los costos por tonelada/kilometro son más bajos en el transporte fluvial que en otros medios como el aéreo, terrestre (carretero), ferroviario [8]. Teniendo en cuenta que es uno de los modos de transporte más amigables por su baja emisión de carbono, los agentes gubernamentales en Colombia buscan actualmente su implementación o uso para promover el desarrollo sostenible con ayuda del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP) [17].

5.1 TRANSPORTE FLUVIAL EN COLOMBIA

El Ministerio de Transporte ha tomado iniciativa de incentivar el progreso del transporte fluvial por medio del Plan Nacional de Desarrollo (PND) en conjunto con otros modos de transporte que están bajo su responsabilidad; para el buen funcionamiento de este modo, el transporte fluvial es catalogado en cuatro indicadores operacionales necesarios, los cuales son, conocimiento de los cuerpos hídricos, tripulación capacitada, los recursos humanos y el modelo operativo [8].

Por medio del río Magdalena, el río más importante en transporte fluvial de Colombia, se conectan los puertos de Barranquilla y Cartagena con el puerto de *Impala Terminals* ubicado en Barrancabermeja, este ofrece una red logística que sirve para la importación y exportación de cargas secas y en contenedores como el petróleo y sus derivados [18]. Este último puerto, al estar conectado con el modo terrestre, redujo el coste de fletes, mejoró la seguridad y eficiencia, además promovió la sostenibilidad y una forma de comercio más responsable [18].

El constante flujo de información es vital para la operación del transporte fluvial, conocer los factores relacionados a las condiciones físicas del río como la sedimentación, velocidad de la corriente y profundidad de la cuenca, requieren de actualización constante debido a que las condiciones del río pueden variar de un momento a otro [2]. Además, un gran porcentaje de las embarcaciones en Colombia que están designadas para el transporte fluvial, se encuentran relativamente obsoletas en comparación con la antigüedad promedio de las embarcaciones utilizadas en Europa [8].

El estado actual de la flota podría mejorar significativamente en Colombia y los aspectos importantes para esto son el personal operativo (no existen capacitaciones apropiadas) y

estructura adecuada para agentes transportistas, personal de transporte fluvial y personal gubernamental [8].

5.2 FINANCIAMIENTO DEL TRANSPORTE FLUVIAL EN COLOMBIA

La financiación para el funcionamiento actual del sistema fluvial en Colombia, en cuanto a su mantenimiento y la rehabilitación del transporte en ríos inactivos, es responsabilidad del Gobierno Nacional. Los recursos destinados para el transporte fluvial de Colombia en 2018 son considerablemente bajos en comparación con los otros modos de transporte, del total de inversión que ofrece el Estado para el sector de transporte en ese año, el 71.27% va destinado al transporte terrestre y solo el 0.37% va destinado al transporte fluvial como se ve en la *Tabla 2* [7]. La mayor parte de esta inversión va destinada a la cuenca del río Magdalena [7].

Tabla 2. *Inversión pública en el sector de transporte en porcentaje.*

AÑO	CARRETERO	FÉRREO	FLUVIAL	AÉREO	MARÍTIMO	OTROS	TOTAL
2010	82,64	1,05	0,95	6,12	0,49	8,75	100
2011	89,43	0,87	1,52	2,93	0,25	5,00	100
2012	92,34	0,62	0,59	3,67	0,02	2,76	100
2013	89,44	0,47	1,04	5,38	1,00	2,67	100
2014	88,65	1,08	0,22	6,98	0,45	2,62	100
2015	82,23	1,31	0,51	9,97	1,08	4,89	100
2016	81,22	0,68	0,48	8,46	2,42	6,74	100
2017	73,98	3,01	0,26	7,81	2,90	12,04	100
2018	71,23	4,32	0,37	8,59	0,77	14,68	100

Fuente: Ministerio de Transporte, 2018 [7].

Según el PMF, la financiación de los proyectos de infraestructura fluvial está caracterizado según su beneficio. Estos proyectos pueden ser de tipo comercial, turístico y social. Un ejemplo del primero son los proyectos de navegabilidad del río Putumayo y del río Meta el cual permite un eje de desarrollo e integración del sur de Colombia, proyectos en Cartagena y Girardot son de interés turístico o de interés social. Los proyectos de interés comercial pueden recibir sus ingresos mediante Fondos de

cooperación internacional, por peajes, asignación de vigencias futuras para APP (Asociación Pública Privadas) y asignación de regalías como en el caso del río Magdalena [19].

Para los costos del transporte fluvial se tienen en cuenta los más representativos como lo son el combustible e impuestos. Los costos de combustible tienen una porción de 50% a 60% del costo total del transporte fluvial, dejando en claro que es el costo más dominante. Los impuestos del transporte fluvial son tomados en su gran parte por la infraestructura fluvial, tasas portuarias, impuestos a los combustibles e impuestos a la renta [19].

5.3 RÍO SINÚ EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

El río Sinú nace junto al río San Jorge en el Nudo de Paramillo ubicado en el municipio de Ituango, Antioquia, siguen su recorrido paralelamente y se separan en la serranía de San Jerónimo. El río Sinú sigue su trayecto hasta desembocar en la bahía de Cispatá, en el mar Caribe [20]. La cuenca tiene longitud de 482 km desde su nacimiento hasta su salida al mar [1], transitando principalmente por 8 municipios del departamento de Córdoba (ver ilustración 6) [20].

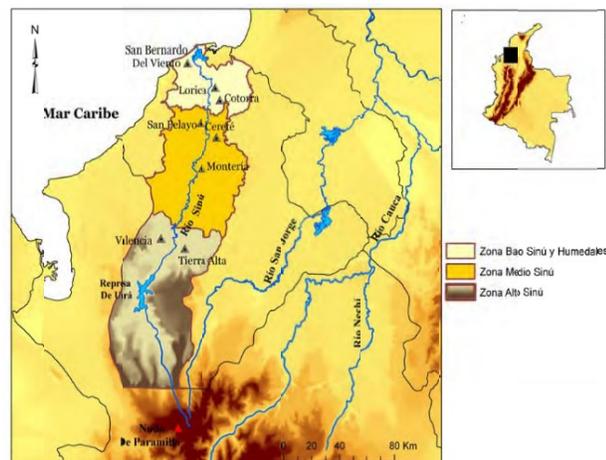


Ilustración 6. Río Sinú, Zonas y recorrido[20].

Los municipios de Valencia y Tierralta que son correspondientes al Alto Sinú tienen una importante porción del río, pero el nivel de población es comparativamente bajo al resto del tramo. De tal forma que los seis municipios restantes que hacen parte del Medio y Bajo Sinú, a pesar de que solo abarcan el 21% del territorio de Córdoba, presentan el 46% de su población. Los más poblados son Montería, Cereté y Lorica [21].

Tabla 3. Población del medio y bajo Sinú por municipios.

Municipio	Población
Montería	433.723
Cereté	96.252
San Pelayo	40.617
Cotorra	16.215
Lorica	98.491
San Bernardo del Viento	29.437
TOTAL	714.735

Fuente: DANE. CENSO NACIONAL 2018 [21].

Según el “*Ist RiverCity Forum*” realizado en el año 2015, se dio a conocer el aprovechamiento de los ríos va sujeto al desarrollo de las ciudades [22]. De igual forma, expusieron las responsabilidades de las empresas públicas y privadas en el factor recuperador de los ríos, dado que una parte invierte y la otra genera la oportunidad, además de la necesidad de formación académica para el impulso de nuevas investigaciones relacionadas a la cuenca fluvial [22].

En este foro se mencionan los beneficios del transporte fluvial en Colombia, sin embargo, este transporte implica un desafío en términos administrativos, normativos y legales. Además, se realiza un llamado a todos los gobernantes del mundo, para tener en cuenta los ríos dentro de los planes de desarrollo, con el propósito de fomentar compromisos en términos de sostenibilidad [22].

La alcaldía de Montería actualmente está implementando un proyecto llamado BUSINÚ, el cual consta de 4 fases que comuniquen fluvialmente el norte con el sur, y margen izquierda y derecha de la ciudad para el transporte de pasajeros. Con el objetivo de promover el turismo e impulsar un transporte intermodal que integre diferentes modos de transporte, más de cien mil personas se beneficiaran de ello. Para la fase 1 del proyecto se tiene pensado realizar 4 estaciones flotantes que se nivele con la altura del río dependiendo la época y 4 embarcaciones híbridas (energía solar y combustible diésel) con capacidad de 60 pasajeros, invirtiendo en ello cerca de \$8.700.000.000 millones de pesos colombianos. Este proyecto incluye energía solar para el sustento de las mismas estaciones y otros sistemas auxiliares para el mantenimiento de las embarcaciones [23].

Por otra parte, un proyecto llamado Diamante Caribe y Santanderes, el cual se basa en el desarrollo sostenible por medio de sistemas de transporte y comunicación [24], busca la creación de un modo de transporte multimodal que beneficie a todas las ciudades implicadas (Santa Marta, Riohacha, Valledupar, Cúcuta, Bucaramanga, Barrancabermeja, Apartadó, Turbo, Montería, Sincelejo, Cartagena y Barranquilla), conectándose de forma eficiente y sustentable [24]. Se exponen propuestas de nuevos puertos hídricos con conexiones marítimo-fluviales como la estrategia Magdalena PLUS que planea la integración de puertos fluviales con la red de carreteras y ferrocarriles, además, se da a conocer la importancia de los corredores fluviales como grandes ejes multimodales de transporte, favoreciendo al desarrollo ambiental, urbano y económico [24].

En el proyecto Diamante Caribe y Santanderes, se mencionan algunas iniciativas que estará tomando el Departamento de Córdoba en los próximos años, proyectos como el Corredor Ecológico del Sinú que pretende extender la ronda del Sinú hacia el municipio

de Cereté o Ecociudad del Sinú que promueve el desarrollo de áreas urbanas según criterios de sostenibilidad[24].

Con la activación del río Sinú como un corredor de transporte, se podría involucrar con otros proyectos como Magdalena PLUS mencionado anteriormente, la región tendría un vínculo con diferentes zonas del país donde circule de manera eficiente mercancías o bienes por medio de una conexión multimodal.

El uso del río Sinú como vía de transporte es utilizado en actividades económicas como el transporte de pasajeros, turismo y extracción arenera. En el transporte de pasajeros, los planchones son el principal medio de transporte en el río, en el 2015 se registraron 49 planchones distribuidos en Tierralta, Montería, Cereté, San Pelayo, Cotorra, Lorica y San Bernardo del Viento [20]. Estas barcazas cautivas se mueven en sentido perpendicular a la corriente del río y en el caso de Montería, tiene una tarifa de \$800 pesos colombianos por persona.

La minería de arena consiste en la extracción de arena de las profundidades del río y luego transportarla a las orillas por medio de canoas, esta es una actividad que se realiza solo en el medio y bajo Sinú, no tiene reglamentación ambiental, ni permisos mineros desde hace más de 50 años [20]. Al ser un trabajo no regulado, utilizan las canoas como medida en metros para determinar la cantidad extraída, según una entrevista realizada a los“paleros” que son los encargados de recoger la arena de las canoas a la orilla del río, mencionan que el metro de arena en canoa tiene un valor de \$10000 pesos colombianos en temporadas de baja profundidad y \$25000, \$30000 y hasta \$40000 el metro en canoa en temporadas de alta profundidad. El impacto ambiental de la extracción de arena se contempla principalmente en un pequeño efecto en la sedimentación y erosión del suelo [20].

Los depósitos de arena donde realizan la actividad minera varía constantemente y por lo tanto los “paleros” no saben definir una ruta en específico, como tal, ellos manejan un perímetro que no se aleje mucho de la zona de descargue.

Los municipios que participan en el turismo por medio del río Sinú son los municipios de Montería, Cereté, San Pelayo, Lorica, San Bernardo del Viento y San Antero [20]. Por ejemplo, Municipio de Montería se realizan paseos por medio de lanchas a motor a un costo de \$20000 por persona, cada lancha tiene una capacidad de hasta 16 pasajeros y su recorrido consta desde el muelle de Montería hasta Sierra Chiquita.

5.3.1 COMPORTAMIENTO DEL RÍO SINÚ ANTES Y DESPUES DEL EMBALSE DE URRÁ.

En la década de 1920 se incrementó la sedimentación de la boca de Cispatá dificultando el tránsito de las embarcaciones, esto en conjunto con la construcción de nuevas carreteras, provocó una decadencia comercial en Córdoba debido a la emigración de muchos comerciantes a ciudades más dinámicas como lo son Barranquilla o Cartagena, a pesar de esto el río seguía en condiciones navegables [2]. Tiempo después hacia el año 1992 con la creación de la empresa multipropósito Urrá S.A., las condiciones hidrográficas del río se vieron afectadas, al punto que para el siglo XXI la principal cuenca hidrográfica de Córdoba disminuyera su actividad económica para fines comerciales y públicos [2].

El sistema fluvial para el río Sinú en el período de 1945-1999 se caracterizó por tener una alta dinámica fluvial a raíz del balance, sinuosidad constante, agradación (estancamiento de sedimentos) y degradación (arrastre de material particulado). En esta época el río presentaba velocidades y flujos mucho más altos por la ausencia del

embalse. Para la sección de la ciudad de Montería, las inundaciones y el bajo control de flujo eran a causa de los diques naturales que son depósitos en la orilla del río por de arrastre de material [2]. Se presenta una variación de profundidad en el flujo hasta el centro del municipio de Lorica, y luego de esta ciudad, la baja movilidad está presentada por la presencia de nuevos cuerpos hídricos.

En el periodo de 1996 a 2016 el flujo de la corriente es controlado, a excepción de ciertas zonas. En el centro poblado de Volador cerca de Tierralta se observa variedad rocosa y una alta dinámica fluvial, esto es debido a las descargas del embalse [2].

Con la construcción de la represa de Urrá se provocó una inundación, generando un fenómeno que afectó a 7.400 hectáreas de selva[25]. Además, con las constantes precipitaciones, se produjeron depósitos de sedimentos de forma acelerada, ocasionando erosión de manera progresiva e inundaciones en riberas distantes de la represa (medio y bajo Sinú) [25].

La represa estimuló la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a causa de la reducción de oxígeno, este deterioro de las aguas es ocasionado por la descomposición de la flora inundada y descargas del embalse. Este impacto hacia la cuenca hidrográfica ha provocado la desaparición de varias especies de peces como el bocachico [26].

La represa provocó un gran impacto social que afectó a 16.000 habitantes, de esta masa poblacional se encuentran 5462 campesinos, 10.425 colonos y 113 indígenas Embera Katío[27]. Este último grupo es la comunidad indígena más afectada por la represa de Urrá. En el alto Sinú donde pertenecen los Embera Katío, se provocó la

desaparición de territorios ancestrales y sagrados, aumentando el desarrollo de prácticas ajenas a su cultura[25]. Además, por la erosión y la ausencia de peces en la cuenca, se vio afectada la pesca y la agricultura, destacándose la pérdida de cultivos de arroz y pesca de bocachicos; este suceso ocurre a lo largo de todo el río, desde diferentes puntos de vista, afectando a la actividad económica de cada población aledaña a los cuerpos hídricos[28].

5.4 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL RÍO SINÚ

Para el área de estudio se tienen en cuenta el análisis y la interpretación de las condiciones actuales de la cuenca del río Sinú, considerando variables como la velocidad del flujo de corriente y la profundidad. Estas variables están asociadas a factores como la sedimentación, esfuerzo cortante de flujo y erosión hídrica, cuyo análisis es necesario para determinar la viabilidad de un modo fluvial en el río Sinú.

5.4.1 VELOCIDAD, PROFUNDIDAD Y SEDIMENTACIÓN

La velocidad del río Sinú es variada y fluctúa en todo su recorrido en función de las propiedades que ha adquirido por el cambio de las orillas del cauce. En el medio Sinú se mantiene un control sobre la velocidad con pocas fluctuaciones. Durante el paso por los materiales rocosos, se presentan picos de velocidades [2].

La profundidad desde Montería hasta Lorica son relativamente similares, por este tramo hay ciertas variaciones que se encuentran principalmente en sectores de ciénagas, la corriente es controlada por centros poblados y diques naturales presentes [2]. En Tierralta y San Bernardo del Viento la profundidad es menor respecto a los demás municipios donde cruza el río.

La sedimentación es el cúmulo materiales transportados que son procedentes de la erosión de materiales, estas partículas se transportan por cuencas fluviales y son reposadas en la profundidad de las aguas, cuando un depósito se crea cerca del mar, estos son denominados como medios sedimentarios [29].

Tabla 4. *Propiedades hidrográficas del medio-bajo Sinú por municipios.*

MUNICIPIOS	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD	SEDIMENTACIÓN	ROCOSIDAD
MONTERÍA	4,6m	1,5m/s	1,87mm	si
CERETE - SAN Pelayo	4,5m	1,75m/s	3,2mm	no
COTORRA	4,8m	1,70m/s	1,9mm	no
LORICA	4,08m	1,04m/s	0,9mm	si
SAN BERNARDO DEL VIENTO	3,8m	0,9m/s	1,1mm	no
TIERRALTA	2,6m	2,15m/s	15,8mm	si

Fuente: Geomorfología y condiciones hidráulicas del sistema fluvial del río Sinú[2].

5.4.2 DEPÓSITOS DE ESCOMBROS POR EROSIÓN HÍDRICA

Los depósitos de escombros encontrados a lo largo de todo el río desde Montería hasta la desembocadura se clasifican respecto al grado de compactación y composición litográfica (características de las rocas) [2]. Según un estudio realizado por la Corporación Autónoma regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS), identificaron que de 113 puntos críticos por problemas de erosión en el río Sinú, 23 son de alto riesgo, 50 de riesgo medio y 40 de riesgo bajo (*ver Tabla 5 y 6*)[30].

Tabla 5. *Criterios de amenaza por erosión.*

CRITERIO	AMENAZA		
	ALTO	MEDIO	BAJO
SEVERIDAD	X		X
PERSISTENCIA	X	X	X
PELIGROSIDAD	X	X	

Fuente: Corporación Autónoma regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS)

[30].

Cuando en una zona se presenta un criterio de severidad, es debido a un grado de erosión acelerado, persistencia por una erosión que es progresiva y perdurable, y peligrosidad cuando la erosión presenta una amenaza de inundación e impone un peligro a las poblaciones aledañas.

La zona donde hay mayor presencia de puntos críticos de erosión es en el municipio de Lórica (*Ver Tabla 6*) con gran presencia de amenazas altas y medias en comparación con los demás municipios [30]. Estas condiciones de erosión y presencia de depósitos pueden ocasionar accidentes por estancamientos y derrumbes, adicionalmente, el río Sinú requiere de un mantenimiento periódico de dragado para que pueda seguir en buenas condiciones y evitar obstrucciones en la posible vía fluvial [8].

Tabla 6. *Puntos críticos por erosión en municipios (2014).*

MUNICIPIO	ALTO	MEDIO	BAJO	TOTAL
Cereté	1	9	3	13
Cotorra	0	1	1	2
Lórica	13	19	10	42
Montería	4	6	7	17
San Bernardo del Viento	1	3	1	5
San Pelayo	2	9	2	13
Tierralta	1	2	8	11
Valencia	1	1	8	10
TOTAL	23	50	40	113

Fuente: *Corporación Autónoma regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS)* [30].

5.4.3 ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo Cortante puede definirse como el flujo producido por una fuerza [2]. En el caso del río Sinú, se debe al transporte de sedimentos por todo el recorrido de la cuenca fluvial, muestra una alta presión en el alto Sinú asociada a la velocidad en este

tramo. Esta presión va disminuyendo exponencialmente por todo el recorrido a excepción de algunos picos como se muestra en la *Ilustración 7*.

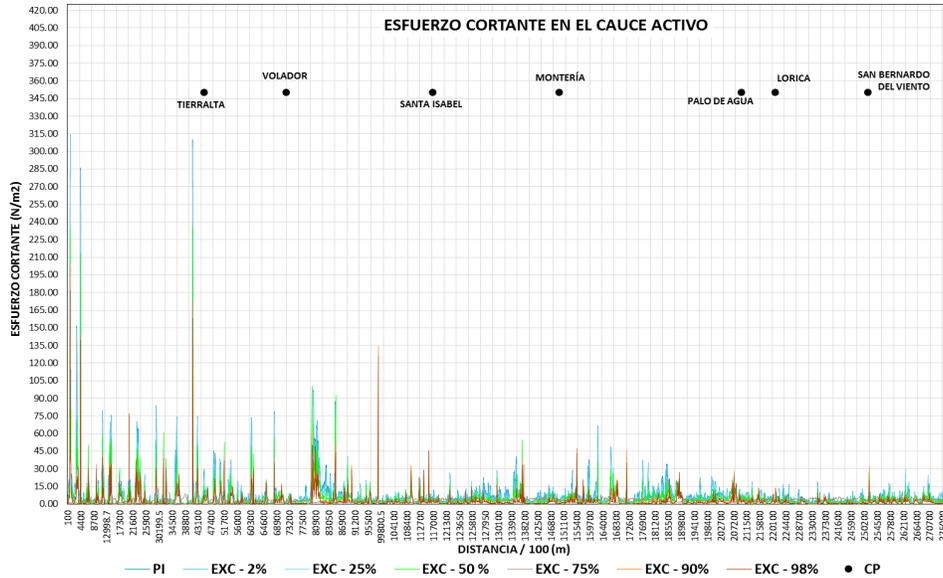


Ilustración 7. Condiciones del esfuerzo cortante en el flujo del río Sinú [2].

En este sentido y con la información recolectada, el río Sinú es navegable en 190 km desde la desembocadura con mar el Caribe hasta Montería[7], con una profundidad de 4.3 m, una velocidad de 1.4 m/s y una sedimentación de 1.8mm en promedio[2]. En la zona alta del Sinú, la navegabilidad podría verse afectada por el fuerte flujo a raíz de la dinámica provocada por el embalse.

5.4.4 LIMITACIONES EN LA NAVEGACIÓN DEL RÍO SINÚ

En condiciones ideales se pueden utilizar barcazas de buen tamaño, sin embargo, hay factores a tener en cuenta como siniestros o precipitaciones del río en las temporadas de verano o invierno, estas condiciones podrían provocar estancamientos en zonas de baja profundidad. Por esta razón se requiere un registro de los límites de profundidad del río Sinú como se representa en la *Tabla 7*.

Tabla 7. *Histórico de rangos de profundidad del río Sinú por puntos de control.*

MUNICIPIOS	RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	
	MAX	MIN
COTOCÁ	4,85	1,74
LA DOCTRINA	5,88	3,39
LA PALMA	5,42	2,03
MOCARÍ	6,16	2
MONTERIA	5,53	2,19
SAN PELAYO	5,16	1,63

Fuente: M. A. Jiménez, MUTC - Un modelo de transporte en ríos: Aplicación al río Sinú [31].

El punto más bajo registrado se presenta en San Pelayo con una profundidad mínima de 1,63m. Es importante saber la anchura del río para los cruces entre barcazas y que por consiguiente se eviten accidentes. El ancho de la cuenca es relativamente constante a lo largo del tramo entre Urrá y el mar Caribe, con un rango entre 120 m y 160 m aproximadamente [32]. Estas dimensiones dan un gran margen para las embarcaciones, sin embargo, es recomendable que el transporte sea monitoreado sobre todo en zonas sinuosas.

5.5 IMPACTO AL ECOSISTEMA DE LA NAVEGACIÓN

El impacto ambiental del transporte fluvial afecta desde varios puntos de vista a la flora y fauna de los ríos, en esta sección describiremos dichas afectaciones encontradas en la revisión de literatura.

El Departamento de Córdoba es reconocido por su gran riqueza y distribución de flora y fauna en todo el territorio. Los planes de Ordenamiento de las cuencas del río Sinú y San Jorge (POMCAS) dan a conocer la existencia de 749 especies de aves, 197 mamíferos, 172 reptiles y 131 anfibios en la región [33]. De esas especies que están bajo jurisdicción de la CVS se destaca un tipo de planta llamada *Parinari parvifolia* (chrysobalanaceae)

[34], el cual es una especie endémica (especie presente solo en una zona específica) que se encuentra en todo el recorrido del río Sinú y que además tiene un área de distribución menor a 100 km² en todo el país [35].

En la *Tabla 8* se muestra las especies afectadas por irregularidades en su hábitad, por tal motivo, la CVS hace un llamamiento de proteger y preservar el bioma aledaño a los humedales para aquellas especies únicas en peligro, destacándose las especies de reptiles con una alta dependencia del grado de conservación de su hábitat. Las zonas de rehabilitación presentes en el Plan Nacional de Restauración para el bajo Sinú son los municipios de Lorica, Purísima, San Antero y Tuchín. Los recursos y la fauna han disminuido debido al uso del terreno para actividades agropecuarias, operaciones del embalse de Urra, aumento de la demanda en prestaciones del recurso hídrico y el contacto de vertimientos contaminantes en las aguas [35].

Uno de los principales problemas para el aprovechamiento del río Sinú es el déficit hídrico presentes en los periodos de condiciones climáticas secas, estas condiciones deben tenerse en cuenta al momento de otorgar concesiones para el manejo del recurso hídrico, sobre todo en zonas urbanas [35]. En la revisión de literatura se encontró que las principales afectaciones ecológicas en un río por el uso de barcazas son las físicas, estas se pueden caracterizar como ruido, luz artificial, emisión de corrientes y olas.

Tabla 8. Características de algunas especies focales de la CVS

ESPECIE	DISTRIBUCIÓN	HÁBITAT	CATEGORIA
Nutria (Lontra longicaudis)	-	Ciénagas y ríos	En peligro
Manatí (Trichechus manatus)	-	Ciénagas y ríos	En peligro
Delfín gris (Sotalia guianensis)	Golfo de Morrosquillo, Bahía de Cispata	-	Vulnerable
Chavarrí (Chauna chavaria)	Montelíbano, Loricá, Montería, Valencia, Tierralta.	Ciénagas	Vulnerable
Tortuga de río (Podocnemis lewyana)	Toda la cuenca del Sinú y San Jorge	Ríos profundos con presencia de hojas y palos en los que busca refugio	En peligro
Tortuga verde (Chelonia mydas)	-	Tortugas marinas en el departamento de Córdoba	En peligro
Babilla Caiman (crocodilus fuscus)	Cuencas del Sinú y San Jorge	Ciénagas, Pantanos, ríos, costas.	Preocupación menor
Cocodrilo americano (Crocodylus acutus)	Alto Sinú, bahía de Cispata, manglares,	Ríos, caños, manglares y ciénagas de tierras bajas	En peligro crítico
Bocachico (Prochilodus Magdalenae)	bajo Sinú, ciénagas cercanas a la Bahía de Cispata	Fondos de cuerpos de agua como arroyos, ríos y ciénagas	En peligro crítico

Fuente: Reporte de Alertas Subzonas Hidrográficas río Sinú y Alto San Jorge [35].

5.5.1 RUIDO PRODUCIDO POR EMBARCACIONES

El ruido es todo sonido no deseado que afecta a la vida silvestre, este se transporta más rápido por agua en comparación con el aire [36]. En un medio acuático, un buque origina vibraciones entre 10 Hz y 1kHz que son similares a algunas frecuencias utilizadas por algunos seres vivos[37]. Se ha demostrado que el ruido bajo el agua ha aumentado en regiones que utilizan el transporte acuático para enviar mercancías,

interfiriendo con la navegación, comunicación y cadena alimenticia de los peces y mamíferos acuáticos [38]. Sin embargo, se han registrado casos en donde el ruido ha beneficiado al sustrato de alimento y evolución de especies, atrayendo a algunos tipos de larvas que, al ser consumidas por los peces, mejoran su crecimiento[38].

Hay una falta de conocimiento cuantitativo respecto a los impactos que puede ocasionar el ruido en un bioma acuático, especialmente a largo plazo[39].

5.5.2 EMISIÓN DE LUZ ARTIFICIAL EN AGUAS

La luz artificial se propaga fácilmente en áreas despejadas como en cuencas fluviales la cual carece de barreras que impidan que la luz se disperse y se refleje, esto causa un impacto ecológico, sobre todo en zonas que son poco expuestas a luz natural[38]. Las consecuencias ecológicas de la luz artificial pueden implicar en la desorientación, emigración y depredación de especies [40], y se ha demostrado que con bajas intensidades afecta a los ecosistemas acuáticos, manifestando que son especialmente sensibles [38]. Sin embargo, se ha demostrado que la luz artificial en aguas dulces produce fototaxis (movimientos en respuesta de la intensidad de la luz) positiva en crías durante su tránsito cerca de las orillas [41].

Se han encontrado casos en los que la iluminación permanente e intermitente no genera diferencias en el comportamiento de los peces, pero sí en los niveles de glucosa en la sangre el cual puede ser un indicador de estrés [42]. En algunas especies no se encontraron diferencias significativas en el nivel de cortisol en las aguas [43], esta es una hormona que se libera cuando hay presencia de estrés [44].

5.5.3 EROSIÓN DE ORRIENTES Y OLAS

Las olas producidas por las embarcaciones tienen una altura y duración diferente a las provocadas naturalmente por el viento [38], al impactar con las orillas del río, afecta a la vegetación y vida silvestre por la erosión causada [45]. Este tipo de olas producidas por la navegación también facilita la dispersión o llegada de especies foráneas; estos invasores han demostrado ser menos vulnerables a las turbulencias de las olas [46][45].

Las olas inducidas por los barcos ocurren de manera estocástica y pueden aumentar la velocidad de la corriente en cuestión de segundos, a diferencia de las olas del viento que aumentan gradualmente [45]. Provoca resuspensión de sedimentos, que representa un 20% de la resuspensión total de sedimentos en un río y en ocasiones de bajo flujo puede llegar al 57%[47], sin embargo, se ha demostrado que esta acción puede transportar nutrientes que inducen al desarrollo y crecimiento de algas[48]. Por otra parte, estudios han observado reducción de crecimiento y metabolismo de bentónicos (organismos que habitan en el fondo del agua) y plancton (conjunto de organismos microscópicos flotantes) de un 35 a 54%, el cual puede afectar al desarrollo de los peces [45].

La aparición de olas por la navegación acuática puede producir inmovilidad o asentamiento en algunas especies de peces, esto también depende de los niveles de agua, pero en algunos casos, se ha visto que los peces pueden navegar en contra de esta corriente, con o sin complicaciones[45]. En este ambiente, los peces deben tomar una velocidad de natación mayor a la de la corriente inducida para que se produzca este cometido (mayor gasto energético por locomoción a contracorriente), esta

limitación es definida por los investigadores como “*cuello de botella en habitat inducidos por la navegación*”(*navigation-induced habitat bottleneck*)[49]. Los peces son capaces de reaccionar de forma inmediata a un indicio de pulsos de ondas para ubicarse en lugares tranquilos si así lo desean[50], los horarios donde las larvas o peces jóvenes se ven más afectados por estos pulsos son en la tarde y noche cuando buscan una zona donde descansar, por lo general son en aguas poco profundas[51]. La locomoción que deben hacer estos seres afecta a su crecimiento por el esfuerzo energético que se requiere para nadar en aguas turbulentas [52].

La alimentación de estos seres vivos puede facilitarse por la suspensión de bentos a causa de las olas inducidas por la navegación, favoreciendo la caza a sus depredadores[53]. Además, se ha demostrado el aumento de la depredación de plancton por la turbidez, lo que a su vez ha mejorado el crecimiento en los peces bajo estas circunstancias [54].

5.6 IMPACTO AMBIENTAL DEL MODO CARRETERO

Los factores que más afectan a un ambiente ecológico provocado por el modo carretero están relacionados con la dispersión de especies, pérdida local de flora y fauna, alteraciones microclimáticas, emisiones GEI y ruido [55].

La creación de carreteras en hábitats poblados por especies de animales y plantas provoca un efecto barrera, dividiendo la población de manera aislada. En comparación con poblaciones masificadas, este efecto puede provocar la extinción de una especie de forma paulatina y consecuente [56]. Además de esto, en el borde de las carreteras se crea un aumento de condiciones microclimáticas que afectan al bienestar de los animales, como lo puede ser el aumento de temperatura, humedad, exposición a corrientes de viento y

radiación solar [55]. Se ha reportado casos en donde este efecto repercute en las aves a una distancia de hasta 50m y de 300m para los insectos [57].

5.6.1 ATROPELLO DE ANIMALES

Según investigaciones realizadas en Norte América y España, se ha estimado que el atropello tiene una tasa elevada de mortalidad en los animales, argumentando que, las muertes en el oso negro para antes y después de la creación de una carretera en Estados Unidos, dio como resultado un aumento de 93% en menos de 20 años. Estos indicadores de mortalidad son directamente proporcionales a la velocidad de los vehículos que transitan por la vía [58]. Las carreteras presentan un estimulante de calor a las especies ectotérmicas o de sangre fría como lo son las serpientes e iguanas, ellos necesitan regular su temperatura corporal, por ese motivo, se ven atraídos a las temperaturas del pavimento tanto de día como de noche [59]. Algunas especies de aves se alimentan de granos de arena encontrados en las carreteras para mejorar su digestión y en el caso de aves carroñeras como *Coragyps atratus* (buitre negro o golero), se acercan a las vías para alimentarse de los animales muertos y desperdicios [58]. Este tipo de acciones realizadas por instinto son perjudiciales para la vida del animal. Para Colombia no se encontró un reporte de casos relacionados al atropello de especies en la revisión de literatura.

5.6.2 RUIDO EN LAS CARRETERAS

El ser humano al exponerse a ruido durante un tiempo determinado puede ser perjudicial dependiendo de la intensidad y potencia del sonido, teniendo en cuenta que el oído humano puede soportar en una jornada laboral de 8 horas a un límite de 55

decibeles (dB) sin alterar la salud, al sobrepasar los 60 dB, empiezan las molestias físicas [60].

En el caso de los vehículos motorizados, al sobrepasar los 60 Km/h o activar pitos o bocinas, pueden causar enfermedades al ser humano. La exposición al ruido genera otros problemas que no corresponden directamente con la pérdida del sentido del oído, como es el estrés, insomnio, ansiedad, depresión, baja productividad, entre otros que pueden provocar alteraciones en la vida cotidiana de una persona [61].

Las aves cantoras son muy sensibles a niveles bajos de ruido, el sonido de las aves de bosque es opacado a los 42 dB y en las aves de pastizal a 48 dB [62]. Los sonidos generados por algunas especies para su reproducción, se ven opacados por el ruido contaminante de las carreteras [63].

Como por ejemplo, en Montería, la mayor zona de ruido ambiental según un reporte realizado por Funsostenible, se encuentran en la zona industrial del municipio, la cual está ubicada entre la calle 20 y la calle 41, y la carrera 1ra y la carrera 9na, donde los niveles de ruido se encuentran entre los 70 dB y 80 dB debido al parque automotor que transita por el centro de la ciudad [64].

5.6.3 INDICE DE ACCIDENTES EN CARRETERA

Si hacemos una comparación entre los diferentes vehículos que utilizan las carreteras como vía de transporte, tenemos que, bajo condiciones climáticas de lluvia, los camiones son más propensos a los choques debido a su gran tamaño y a su centro de gravedad [65].

Según un estudio realizado para las vías estadounidenses se demostró que los choques de camiones bajo lluvia tiene una tasa más alta respecto a condiciones normales y poseen una probabilidad alta de ocasionar lesiones graves si es en condiciones de poca luminosidad [66]. Además, se encontró que a 100km/h o más, hay una probabilidad alta de lesiones críticas bajo las mismas condiciones [67].

En Colombia, si bien es cierto que los camiones no son el tipo de vehículo con más accidentes, dado a que el más representativo son las motocicletas [68], este tiene una participación mayor a los vehículos acuáticos (*ver Tabla 9*).

Tabla 9. *Accidentes de transporte según medio de desplazamiento (2017).*

MEDIO DE TRANSPORTE	LESIONES	MUERTES
Motocicleta, Motocarro	22607	3365
Bus, Busetas, Microbús	3121	176
Tracto camión, camión, Furgón, Volqueta.	178	150
Otros vehículos terrestres carreteros	110	29
Vehículos acuáticos.	10	25

Fuente: Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte.

Colombia [68].

Posiblemente estos resultados estén directamente relacionados a la cantidad de flota en cada modo de transporte, además del número de personas que estén involucradas por el tipo de vehículo [7].

5.7 BARCAZAS PARA TRANSPORTE DE MERCANCÍAS

El uso de las barcas como medio de transporte para mercancías es catalogado como el más económico, al compararse con otros medios de transporte. Aunque el incremento en la rentabilidad está condicionado al transporte de grandes cantidades de cargas, lo que diferencia de otros medios de transporte son las pocas unidades de transporte requeridas

dado a su gran tamaño y capacidad [8]. En promedio una barcaza de gran tamaño puede transportar 1200 T.M (Tonelada Métrica), en cambio que, en el transporte por carretera un camión con capacidad de 35 T.M, necesita aproximadamente 35 viajes para igualar un solo viaje de una barcaza [69].

Partiendo de lo anterior, para determinar qué tipos de barcazas utilizar en el río Sinú se tienen en cuenta los límites posibles para que una embarcación de gran tamaño pueda navegar por la cuenca. Para esto se deben considerar ciertos parámetros que se encuentran dentro de las características propias del río como lo son la profundidad, ancho, curvatura e impacto medioambiental. La profundidad es necesaria para poder estimar el tipo de calado, evitando que la quilla toque fondo y encalle la embarcación. El río Sinú, en su medio y bajo tiene una profundidad mínima de 3,8 metros ubicado en San Bernardo del Viento, cerca de la desembocadura del río, por lo tanto, se podría utilizar una barcaza que no tenga un calado mayor a 2,5 metros, asumiendo una diferencia de 1,3 metros entre la profundidad del río y la quilla de la barcaza.

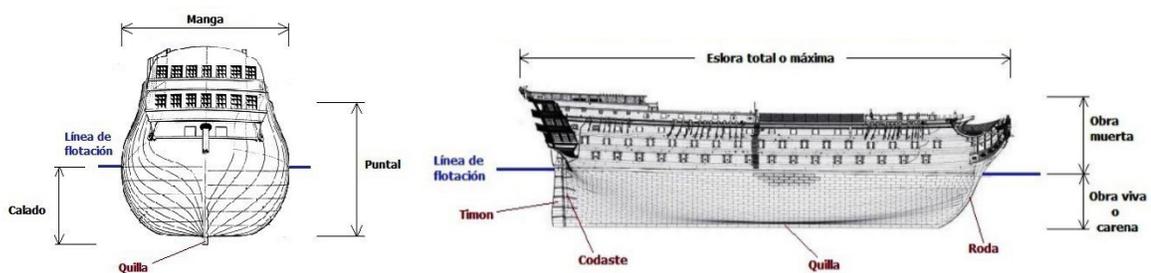


Ilustración 8. Partes de una Barcaza[100].

5.7.1 EMBARCACIÓN SOSTENIBLE

Para suministrar el mayor grado de sostenibilidad posible, se desarrolló una búsqueda de sistemas de navegación basado en energías renovables y se encontró un método de cero emisiones en embarcaciones fluviales desarrollado en Países Bajos, la cual proporciona energía por medio de baterías del tamaño de un contenedor.

La empresa encargada de este servicio llamada Zero Emissions Services (ZES), proporciona un método de navegación sin emisiones, suministrando una infraestructura adecuada para la recolección de energía renovable. Estas baterías en forma de contenedores llamadas ZES Packs (*ver ilustración 9*), se recargan en las estaciones o puertos fluviales.



Ilustración 9. Baterías en Forma de Contenedores (ZESPACKS)[70].

Las baterías pueden reutilizarse luego de hacer cumplido su ciclo de vida y tienen una reducción del 48% de impacto ambiental en comparación con fabricar una batería nueva, y esta tiene una eficiencia del 70% a 80% de su capacidad total [71]. Todas las embarcaciones nuevas y antiguas que funcionen con energía pueden utilizar este servicio de baterías. Se buscó una embarcación que funcione con energía para utilizar las baterías ZESPack, en el caso de dicha embarcación, esta es autopropulsada y navega en los ríos de Países Bajos (*ver Ilustración 10*)[72].



Ilustración 10. Barcaza EC52 (PortLiner) [72].

Esta barcaza tiene unas dimensiones clase Kempenaar según la clasificación CEMT, tiene 52 metros de eslora y 6.7 metros de manga con 2 metros de calado, además de una capacidad máxima de 400 T.M adaptada a contenedores de 24/36 T.M. Este tipo de embarcaciones aún se encuentran en fase de desarrollo y no se tiene registro de operación.

5.8 MARCO LEGAL

Según el Código Nacional de Navegación y Actividades Portuarias Fluviales, se dictamina que las vías fluviales a nivel nacional son navegables libremente por toda clase de embarcaciones, esto quiere decir que son de uso público [73]. Estas normas son reguladas por la nación o autoridades competentes, así mismo, será responsabilidad de las autoridades fluviales y de todo el que use el recurso hídrico mantener las vías fluviales libre de contaminación.

Cabe resaltar que no se permiten zarpar más de 2 embarcaciones al tiempo, si existe alguna que posee mayor velocidad, este deberá partir primero [73].

El transporte fluvial se considera un modo de servicio público esencial, donde el control de las embarcaciones fluviales le corresponde al Ministerio de Transporte mediante normas, de igual forma para la construcción de embarcaciones y artefactos fluviales [74].

El servicio público de transporte fluvial menciona que, para la navegación a flote, debe extenderse 20 metros por cada lado de la vía fluvial navegable y dicha embarcación no puede utilizarse en la navegación marítima. Además, señala que las empresas de transporte fluvial se clasifican en: Pasajeros, Carga, Mixto, Turismo y Servicios Especiales [75].

Es necesario que exista un mercado que requiera envío de bienes y de prestación de servicio, debidamente evaluadas por el Ministerio de Transporte para que se permita la navegación en el río. Las embarcaciones deben de estar matriculadas en el Libro de Registro de la respectiva División de la Cuenca Fluvial tanto para embarcaciones menores como para embarcaciones mayores, además de estar provisto de la respectiva patente de navegación[75]. Los costos en que incurra la autoridad ambiental para reparaciones del recurso natural serán a cargo del infractor [76].

5.8.1 REGLAMENTO PARA EMBARCACIONES

El reglamento para las embarcaciones menores presentes en el territorio nacional se muestra en la Resolución 2105 de 1999, su aplicación consta de aquellas que tengan una capacidad transportadora que no supere las 25 T.M. Su vigencia para las patentes es de un año y es utilizada frecuentemente para el transporte de pasajeros y mercancías [77].

De igual forma, el reglamento para las embarcaciones mayores se muestra en la Resolución 2104 de 1999, su aplicación consta de aquellas que tengan una capacidad transportadora que exceda las 25 T.M, teniendo en cuenta que las unidades remolcadoras se consideran como embarcaciones mayores [78]. Estas embarcaciones pueden ser arrendadas o fletadas con el respectivo contrato de arriendo según lo establecido en el Código de Comercio, este contrato debe estar registrado ante la

división de la cuenca fluvial respectiva y anotada en el registro de matrículas para embarcaciones mayores. También se debe tener en cuenta que tienen una patente con vigencia a tres años [78]. Además, cuando las embarcaciones naveguen en una misma dirección, deben mantener distancias entre 600 y 1.200 metros dependiendo del tramo del río [78].

5.8.2 MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

Para preservar la naturaleza en la región, la CVS ofrece funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de las actividades de explotación, exploración, beneficio, transporte, uso y depósito de los recursos naturales no renovables [79]. En el caso cuencas fluviales pertinentes, las funciones de sanción y de medidas prevención en materia ambiental, tienen una función preventiva, correctiva y compensatoria para garantizar la efectividad de los principios y fines previstos en la Constitución y los tratados internacionales [80]. Estas infracciones a las normas fluviales tienen una multa que oscilan entre 1 y 1000 salarios mínimos mensuales vigentes [81].

El objetivo de estas medidas preventivas es de impedir la ocurrencia de un hecho causado de una actividad o la existencia de una situación que atente contra el medio ambiente, recursos naturales o la salud humana [80].

Respecto a los permisos requeridos para el uso de las aguas, está sujeto a la disponibilidad del recurso, por tanto, el estado no es responsable cuando por causas naturales no pueda garantizar su uso adecuado, como en caso de precipitaciones que afecten la navegación en embarcaciones [76]. Igualmente, se prohíbe vertimientos no

tratados provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte fluvial o lacustres [76].

6. METODOLOGÍA

6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación sobre la viabilidad del río Sinú como medio de transporte de mercancías para el departamento de Córdoba en el medio-bajo Sinú, tiene un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo hacia recolección de datos relacionados a la navegación fluvial. Tiene como objetivo de evaluar la factibilidad del transporte fluvial en el río Sinú, se realizarán comparativas entre el modo fluvial y carretero, teniendo en cuenta el impacto ambiental y costos operacionales entre estos medios de transporte.

Para el muestreo de vehículos, en el modo terrestre se tomaron los camiones más utilizados para el transporte de cargas y en el modo fluvial se propusieron una variedad de embarcaciones con diferentes características. Para el caso de la emisión de gases en embarcaciones sostenibles que proviene de la producción de energía para que dicha embarcación funcione y no por su navegabilidad, se estudiará solo su impacto ambiental dado a que, al ser una forma de navegación reciente, no hay estudios tarifarios de sus costos operacionales.

6.2 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La contaminación y la mala calidad del aire a causa de emisión de gases, es una problemática muy común a lo largo de todo el mundo y se ha demostrado que es un peligro para la salud humana[82]. A razón de esto, la Organización Mundial de la Salud da a conocer las estadísticas de muertes prematuras a causa de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en todo el mundo con un total de 4,2 millones de víctimas[83]. Las razones de dichas muertes varían entre enfermedades pulmonares y cardiovasculares que al no ser tratadas pueden ocasionar eventos de mayor gravedad en el cuerpo humano[84].

La combustión genera emisión de gases de efecto invernadero como Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O)[85]. Dentro de este tipo de gases el más representativo el CO_2 según el *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, por una unidad de CO_2 emitida por quema de combustible hay 28 unidades de CH_4 y 265 unidades N_2O que calientan el planeta en un lapso de 100 años [86].

La emisión de GEI en Colombia para el transporte representa el 11% de todo el sector económico (28,5 Mton CO_2 eq.), donde 25,6 Mton CO_2 eq. hacen parte del transporte terrestre y solo 0,3 Mton CO_2 eq. hacen parte del consumo de combustible en ferrocarriles, transporte marítimo y fluvial. En Córdoba se emiten alrededor de 529,63 Kton CO_2 eq. En transporte terrestre [87] y en Montería cerca de 286,38 Kton CO_2 eq [88].

6.3 CÁLCULO DE EMISIÓN DE CO₂

El método para calcular la cantidad de emisiones en las fuentes móviles relaciona el factor de emisión y el factor de actividad. La ecuación para estimar dicha emisión es la siguiente [89]:

$$E = FE_{i,j} * FA_{j,d,m} \quad (1)$$

Donde:

E: Emisiones totales.

FE_{i,j}: Factor de emisión del contaminante (i), para el vehículo (j).

FA_j: Factor de actividad del vehículo (j) en la distancia (d), y demanda (m).

El factor de actividad está relacionado a la distancia recorrida por un vehículo y el factor de emisión es la cantidad de contaminante liberado a la atmosfera en función de la distancia recorrida, estos factores varían en función del tipo de combustible y/o la cantidad transportada por vehículo [89].

En el cálculo de emisión de CO₂ se evaluará la emisión de dicho gas para las siguientes rutas:

Tabla 10. Características de las rutas

RUTA	RECORRIDO	DISTANCIA POR CARRETERA (km)	DISTANCIA POR AGUA (km)	CARGA TRANSPORTADA POR MES (T.M)
A1	Montería a Cartagena	275,49	307,74	1.192,89
A2	Cartagena a Montería	275,49	307,74	7.447,32
B1	Montería a Lorica	64	70,3	151
B2	Lorica a Montería	64	70,3	14,5

Fuente: SICE-TAC[90]; Elaboración propia en ArcGIS.

Para el desarrollo de los cálculos, se contempla la información suministrada por el Ministerio de Transporte respecto a la carga real (en Toneladas) en promedio transportada por carretera en 2019, tanto para los cálculos del modo terrestre como el modo acuático.

6.3.1 CÁLCULO DE CO₂ EN EL MODO TERRESTRE

Para el cálculo del transporte terrestre se tomará el tipo de flota más usado en la región cordobesa. Los camiones utilizados para el transporte de carga se dividen en función de los ejes que presenta el vehículo, de forma que los de tipo C2 son para dos ejes, tipo C3 para 3 ejes y así sucesivamente [89].

En la ruta A1, el camión más utilizado a fines de transporte de cargas es de tipo C3S3 (Camión 3 ejes con semirremolque de 3 ejes) según las estadísticas del ministerio de transporte; llevando aproximadamente 12 T.M por vehículo [91]. En la ruta A2, utilizando la misma flota de transporte hay una media de 13 T.M transportada por vehículo [91].

En la ruta B1 el camión más utilizado a fines de transporte de cargas es de tipo C2 según las estadísticas del ministerio de transporte; llevando aproximadamente 3 T.M [91]. En la ruta B2, utilizando el mismo camión, se transportan en promedio de 8 T.M por vehículo [91].

6.3.2 CÁLCULO DE CO₂ DEL MODO ACUÁTICO

Como actualmente no se puede transportar de Montería a Cartagena debido a que una embarcación fluvial no puede navegar por mar, es necesario de un transporte intermodal entre río y mar. En este apartado se realizarán los cálculos de los 2 modos de transporte para el caso de las rutas A1 y A2.

Para el trayecto marítimo se utiliza el factor de emisión de 13.9 gCO₂/tkm en embarcaciones con capacidad desde 0 a 4999 dwt (DeadWeight-Tonnage) [92], este tipo de embarcación es el utilizado en las costas de la región Caribe.

Como actualmente no se utiliza el río Sinú para transporte de mercancías, se decidió utilizar tres tipos de embarcaciones que operan en Europa; Los Spits (En español Peniche) tienen un registro de navegación por Londres – Inglaterra, Coevorden y Rotterdam – Holanda, Oostende – Bélgica y en Dijon – Francia [93]. Las embarcaciones Hageenaar y Hendrina Johanna que operan concretamente en La Haya – Países Bajos, también se utilizaron como muestra [94][95].

Tabla 11. Características por Embarcación Fluvial.

Nombre	Spits	Hageenaar	Hendrina Johanna
Capacidad Vehicular (T.M)	300	180	80
Longitud	38,50	24	21,50
Anchura	5,05	4,20	4,10
Calado	2,20	1,75	1,50
Factor de emisión (gCO₂/tkm)	32	100	160

Fuente: Emissiefactoren, List Emisión Factors [96]; Clasificación CEMT; De Hageenaar [94]; De Hendrina Johanna [95].

Para los cálculos de impacto ambiental en una embarcación sostenible se debe tener en cuenta que la emisión de GEI se produce a partir de la energía requerida para que la embarcación navegue, es decir, lo que emite la planta generadora de energía para alimentar las baterías ZESPAC en embarcaciones EC52 (ver ilustraciones 9 y 10). Respecto al factor de emisión se tomó un estándar tomado del Ministerio de Energías para el cálculo de CO₂ equivalente a 0.225 kgCO₂eq/KWh.

6.4 CÁLCULO DE COSTOS OPERACIONALES

Para calcular los costos operacionales en las rutas Montería - Cartagena y Montería - Lórica, se hizo uso de una fórmula para comparar los medios de transporte terrestre y acuático, la cual fue obtenida del análisis realizado en el software SiceTAC, donde se tienen en cuenta los vehículos usados para el transporte terrestre de carga [90].

$$CT = T * Dis * Dem (1)$$

Dónde:

CT : Costos totales en pesos.

T : Tarifa.

Dis : Distancia en kilómetros.

Dem : Demanda en toneladas.

Teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, el cálculo de costos operacionales se llevará a cabo para las mismas rutas del cálculo de emisiones de CO₂, que se muestran en la *Tabla 10*.

6.4.1 CÁLCULO DE COSTO OPERACIONAL DEL MODO TERRESTRE.

Conociendo las características de las rutas A1 y A2 en conjunto con el camión más utilizado que es el C3S3, se utiliza el software SiceTAC brindado por el Ministerio de Transporte para calcular sus respectivas tarifas [90]. Para las rutas B1 y B2 con un camión tipo C2, se utiliza una tarifa estándar mostrada en el PMF, debido a que estos recorridos no se pueden calcular dentro del software SiceTAC.

6.4.2 CÁLCULO DE COSTO OPERACIONAL DEL MODO ACUÁTICO.

Teniendo en cuenta que no se puede utilizar la misma embarcación para navegar por vías fluviales y marítimas desde Montería hasta Cartagena, se calcula el costo operacional fluvial y marítimo de forma independiente, Teniendo en cuenta de que se investiga el costo de envío por navieras que circulen las cercanías al país.

Debido a que la distancia desde la desembocadura ubicada en San Bernardo, hasta Cartagena es de 118 km. Los respectivos costos a tener en cuenta son el Flete, Peso, recargo por combustible y comunicaciones. Luego de tener todo lo anterior utilizando las tarifas brindadas por iContainers (empresa naviera que transporta mercancías internacionales desde Houston, USA a Cartagena) tiene tarifas que varían entre los \$ 500 USD y los \$ 650 USD por contenedor, considerando que existen contenedores de 20 ft y 40ft [97].

Para el cálculo de costo operacional marítimo, hay que tener en cuenta ciertos factores como son el Pesaje del contenedor de 40 ft (30T.M), BAF (Recargo por combustible), EIS (Desequilibrio en el flujo comercial), Comunicaciones, Cargue y descargue de contenedores en el puerto y el Flete por envío, como se observa en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Costos Operativos del transporte marítimo.

Factor	Costo
Pesaje del contenedor de 40 ft	\$ 230 USD
BAF	\$ 10 USD
EIS	\$ 19 USD
Comunicaciones	\$ 10 USD
Cargue y descargue de contenedores	\$ 36 USD
Flete	\$ 40 USD

Fuente: iContainers [97]; Superintendencia de Transporte [98].

Partiendo de lo anterior se calcula que el costo promedio por contenedor de 40 ft con capacidad de 30 T.M es de aproximadamente \$ 345 USD en todo el recorrido, que en pesos colombianos sería aproximadamente \$ 1.271.307,75 [97].

Ahora bien, en cuanto a los costos operacionales fluviales, se tiene una tarifa de \$ 64 pesos colombianos por tonelada por kilómetro en promedio en el año 2015, agregando la inflación el precio se eleva a \$ 78.3 [8].

Para la Ruta A1 en el modo acuático con una demanda de 1.193 T.M por mes para cualquier embarcación fluvial y considerando que un contenedor de 40 ft tiene una capacidad de 30 T.M, se necesitan 40 contenedores para el transporte de la demanda mensual.

Para la Ruta A2 en el modo acuático con una demanda de 7.447 T.M. Se necesitan 249 contenedores de 40 ft para satisfacer la demanda mensual.

Para hallar el costo fluvial, se usa la misma fórmula que en el transporte terrestre. Donde la distancia es de 190 km desde Montería hasta la desembocadura del río Sinú.

$$CF = T * Dis * Dem (2)$$

$$CM = (Peso + BAF + Flete + EIS + Comunicaciones + Cargue y descargue) * Numero de contenedores (3)$$

Las inversiones principales para el desarrollo del proyecto van destinadas a la infraestructura portuaria en los municipios de Montería, Lórica y San Bernardo del Viento; concretamente en la bahía de Cispatá. Además, el río requiere de mantenimiento periódico mediante operaciones de dragado en zonas como San Pelayo y la desembocadura, y actividades de prevención en puntos críticos; principalmente en el

municipio de Lorica. Al ser un modo de transporte relativamente nuevo en la región, se necesita de personal capacitado para el desarrollo de actividades relacionadas a la operación del transporte fluvial y por ende es necesario que las instituciones de educación superior implementen nuevos programas dedicados a la logística portuaria y naviera.

7. RESULTADOS

7.1 EMISIÓN DE CO₂ DEL MODO TERRESTRE

Partiendo de que el factor de emisión para el camión tipo C3S3 es de 86 gCO₂/tkm (gramos de CO₂ por tonelada-kilometro) [96], obtenemos el siguiente resultado:

Tabla 13. Emisión de CO₂ en ruta A1 por Tierra.

CAMIÓN TIPO C3S3		
Capacidad Vehicular	35	T.M
Distancia	275,49	km
Demanda	1.192,89	T.M
Factor de emisión	86	gCO ₂ /tkm
Flora Req.	34,08	vehículos
Consumo CO ₂	28.262,07	kgCO ₂

Tabla 14. Emisión de CO₂ en ruta A2 por Tierra.

CAMIÓN TIPO C3S3		
Capacidad Vehicular	35	T.M
Distancia	275,49	km
Demanda	7.447,32	T.M
Factor de emisión	86	gCO ₂ /tkm
Flora Req.	212,78	vehículos
Consumo CO ₂	176.442,97	kgCO ₂

Fuente: List of emission factors [96]; SICE-TAC [90]; Elaboracion propia.

Teniendo en cuenta que el factor de emisión para vehículos tipo C2 es de 336 gCO₂/tkm (gramos de CO₂ por tonelada-kilometro) [96], obtenemos el siguiente resultado:

Tabla 15. Emisión de CO₂ en ruta B1 por Tierra.

CAMIÓN TIPO C2		
Capacidad Vehicular	10	T.M
Distancia	64	km
Demanda	151,15	T.M
Factor de emisión	336	gCO ₂ /tkm
Flora Req.	15,11	vehículos
Consumo CO ₂	3.250,40	kgCO ₂

Tabla 16. Emisión de CO₂ en ruta B2 por Tierra.

CAMIÓN TIPO C2		
Capacidad Vehicular	10	T.M
Distancia	64	km
Demanda	14,5	T.M
Factor de emisión	336	gCO ₂ /tkm
Flora Req.	1,45	vehículos
Consumo CO ₂	311,81	kgCO ₂

Fuente: List of emission factors [96]; SICE-TAC [90]; Elaboracion propia.

7.2 EMISIÓN DE CO₂ DEL MODO ACUÁTICO

Considerando que para transportar de Montería a Cartagena se debe calcular la emisión del transporte marítimo, se obtienen los siguientes resultados de este modo:

Tabla 17. Emisión de CO₂ en ruta Desembocadura a Cartagena (A1).

Marine Ship (General Cargo)		
Capacidad Vehicular	0-4,999	Dwt
Distancia	117,74	km
Demanda	1.192,89	T.M
Factor de emisión	13,9	gCO ₂ /tkm
Flora Req. (N/A)	0,24	vehículos
Consumo CO ₂	1.952,26	kgCO ₂

Fuente: Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations [92]; SICE-TAC [90]; Elaboracion propia.

Tabla 18. Emisión de CO₂ en ruta Cartagena a Desembocadura (A2).

Marine Ship (General Cargo)		
Capacidad Vehicular	0-4,999	Dwt
Distancia	117,74	km
Demanda	7.447,32	T.M
Factor de emisión	13,9	gCO ₂ /tkm
Flora Req. (N/A)	1,50	vehículos
Consumo CO ₂	12.188	kgCO ₂

Fuente: Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations [92]; SICE-TAC [90]; Elaboracion propia.

Teniendo en cuenta la información de la *Tabla 11*, la demanda por rutas, y que la distancia de Montería a la desembocadura es de 190 km por río, se obtienen las siguientes emisiones:

Tabla 19. Emisión de CO₂ en ruta A1 por Agua con 1192,89 T.M de Demanda.

	Spits	Hagenaar	Hendrina Johanna
Flota requerida	3,99	6,63	14,91
Consumo CO ₂ por río (kgCO ₂)	7.252,76	22.664,88	36.263,80
Consumo Total de CO ₂ en Agua	9.205,02	24.617,14	38.216,07

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Emisión de CO₂ en ruta A2 por Agua con 7447,32 T.M de Demanda.

	Spits	Hagenaar	Hendrina Johanna
Flota requerida	24,82	41,37	93,09
Consumo CO ₂ por río (kgCO ₂)	45.279,71	141.499,10	226.398,55
Consumo Total de CO ₂ en Agua	57.467,89	153.687,28	238.586,73

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las rutas A1 y A2 se suma el consumo de CO₂ por río y mar, obteniendo el consumo total en agua.

Con la información de la *Tabla 10* y la *Tabla 11* se calcula la emisión de CO₂ para las rutas B1 y B2.

Tabla 21. Emisión de CO₂ en ruta B1 por Agua con 151 T.M de Demanda.

	Spits	Hagenaar	Hendrina Johanna
Flota requerida	0,50	0,84	1,89
Consumo CO ₂ por río (kgCO ₂)	340,03	1.062,61	1.700,17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Emisión de CO₂ en ruta B2 por Agua con 14,5 T.M de Demanda.

	Spits	Hagenaar	Hendrina Johanna
Flota requerida	0,05	0,08	0,18
Consumo CO ₂ por río (kgCO ₂)	32,62	101,93	163,10

Fuente: Elaboración propia.

Para la ruta de Montería a Cartagena (A1) y de Cartagena a Montería (A2), la embarcación Spits y Hagenaar emiten menos CO₂, en cambio que la barcaza Hendrina Johanna emite más que el modo terrestre. En el caso de Montería a Lorica (B1) y Lorica a Montería (B2), se emite menos CO₂ en el modo fluvial (*ver Tabla 23*).

Tabla 23. Diferencia entre la emisión del modo acuático respecto al modo terrestre en kgCO₂.

	Spits	Hagenaar	Hendrina Johanna
A1	-19.057,05	-3.644,93	9.953,10
A2	-118.975,07	-22.755,69	62.143,77
B1	-2.910,37	-2.187,79	-1.550,22
B2	-279,1888	-209,873	-148,712

Fuente: Elaboración propia.

Para la ruta A1 utilizando embarcación sostenible, se requieren de 4.222,22 kWh y 3 embarcaciones; la emisión de CO₂ para producir tal cantidad sumando la emisión del transporte marítimo es de 4.785,37 kgCO₂. Para la ruta A2 con el mismo consumo de energía, con 19 embarcaciones y sumando la emisión del transporte marítimo, se emiten 29.875,56 kgCO₂ para suplir la demanda. Para la ruta B1 y B2 utilizando embarcación

sostenible, se requieren 1.562,22 kWh y una embarcación para cumplir con la demanda de cada ruta; para cada una de ellas de emite 356 kgCO₂.

7.3 COSTO OPERACIONAL DEL MODO TERRESTRE

Para la Ruta A1 y A2, la tarifa en peso-tonelada/kilómetro de todo el recorrido es de \$ 213.69 y \$ 216.36 respectivamente, por lo tanto, utilizando la formula (1) se calcula el costo total (CT) como se muestra en la *Tabla 24* y en la *Tabla 25*.

Tabla 24. Costo operacional en ruta A1 por tierra.

CAMIÓN TIPO C3S3		
Capacidad Vehicular	35	T.M
Distancia	275,49	km
Demanda	1.192,89	T.M
Tarifa	\$ 213,69	T.M/km
CT	\$ 70.224.787,87	

Tabla 25. Costo operacional en ruta A2 por tierra.

CAMIÓN TIPO C3S3		
Capacidad Vehicular	35	T.M
Distancia	275,49	km
Demanda	7.447,32	T.M
Tarifa	\$ 216,36	T.M/km
CT	\$ 443.897.630,74	

Fuente: SICE-TAC [90]; Elaboracion propia.

En la ruta A1 se observa que el costo total para una demanda de aproximadamente 1200 T.M, es de \$ 70.224.787,87. Para la ruta A2, donde se transportan alrededor de 7500 T.M, tiene un costo total de \$ 443.897.630,74.

Para la Ruta B1 y B2, la tarifa brindada por el plan maestro fluvial en todo el recorrido es de \$ 92, pero calculando la inflación desde el 2015 a la actualidad se tiene \$112.6, por lo tanto, utilizando la formula (1) se calcula el costo total (CT) [8].

Tabla 26. Costo operacional en ruta B1 por tierra.

CAMIÓN TIPO C2		
Capacidad Vehicular	10	T.M
Distancia	64	km
Demanda	151,15	T.M
Tarifa	\$ 112,6	T.M/km
CT	\$ 1.089.247,36	

Tabla 27. Costo operacional en ruta B2 por tierra.

CAMIÓN TIPO C2		
Capacidad Vehicular	10	T.M
Distancia	64	km
Demanda	14,5	T.M
Tarifa	\$ 112,6	T-M/km
CT	\$ 104.492,8	

Fuente: SICE-TAC [90]; Elaboracion propia.

En la ruta B1 se observa que el costo total para una demanda de 151,2 T.M, es de \$ 1.089.247,36. Para la ruta B2, donde se transportan alrededor de 15 T.M, tiene un costo total de \$ 104.492,8.

7.4 COSTO OPERACIONAL DEL MODO ACUÁTICO

Tabla 28. Costo operacional en ruta A1 por agua.

EMBARCACIÓN	
Costo por Río (CF)	\$ 17.748.261
Costo por Mar (CM)	\$ 50.852.310
Costo Acuático Total	\$ 68.600.571

Tabla 29. Costo operacional en ruta A2 por agua.

EMBARCACIÓN	
Costo por Río (CF)	\$ 110.789.019
Costo por Mar (CM)	\$ 316.555.630
Costo Acuático Total	\$ 427.344.649

Fuente: Elaboracion propia.

Para la Ruta B1 donde la demanda es de 152 T.M mensual, con una distancia de 70.3 km y utilizando la formula (2) se obtiene un costo por río equivalente a \$ 836.682,48, y para la ruta B2 donde la demanda de 14.5 T.M el costo por río sería de \$ 79.815,1; teniendo en cuenta que la tarifa es de \$ 78.3.

Realizando una comparación entre ambos modos de transporte, empezando por la ruta A1, se puede apreciar una diferencia en costos operacionales de \$ 1.624.216,87 a favor del

modo acuático, lo cual a largo plazo va a presentar beneficios para las empresas vinculadas a transporte multimodal, teniendo en cuenta que también aportan al medio ambiente.

Para la ruta A2, la diferencia es mayor, exactamente \$ 16.552.981,7 a favor del transporte multimodal, considerando que este consta del transporte fluvial y marítimo.

Respecto a la emisión de gases CO₂ para las rutas A1 y A2, las embarcaciones Spits y Hagenaar emiten menos cantidad a razón de un 67% y 13% respectivamente, en cambio que la barcaza Hendrina Johanna emite más que el modo terrestre con un 35% de más que un camión C3S3.

Para las rutas B1 y B2 no es necesario calcular el modo marítimo, por lo tanto, solo se necesita el transporte fluvial, en donde se presentan diferencias significativas en ambas rutas, por ejemplo, para la ruta B1 \$ 252.564,88, y para la ruta B2 es de \$ 24.677,7, teniendo en cuenta que en dichas rutas la cantidad de toneladas transportadas es pequeña, los resultados muestran gran diferencia entre distintos modos de transporte en cuanto a los costos operacionales. Para estas rutas, las barcasas Spits, Hagenaar y Hendrina Johanna emiten menos CO₂ comparándolo con el camión C2 con reducciones de 90% para el Spits, 67% para Hagenaar y 48% para Hendrina respecto al dicho vehículo terrestre.

7.5 COSTO DE CONTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Según el PMF (2015) tenemos que el costo más alto en Construcción, Operación y Mantenimiento para proyectos de navegabilidad en Colombia llevados por inflación desde 2015 a 2021, es de \$2'031.994.000.000 de pesos colombianos en el río Putumayo entre Puerto Asís y Leticia, y el más bajo es de \$655.143.000.000 de pesos colombianos en el río Vaupés entre Calamar y Mitú. En promedio el costo de proyectos de navegabilidad en Colombia tiene un valor de \$1'041.371.000.000 de pesos colombianos.

8. CONCLUSIONES

Llevar a cabo la navegabilidad para el transporte de bienes en el río Sinú es factible siempre y cuando se realice por medio de embarcaciones de bajo calado para evitar dificultades por las bajas precipitaciones en temporada de verano. A pesar de que el río Sinú ha presentado profundidades muy bajas en su historial, es navegable en su medio-bajo recorrido para embarcaciones que no superen 2.5m de calado aproximadamente. De esta forma se espera tener una navegación eficiente con ayuda de un sustento económico adecuado por la cuenca, es necesario realizar ciertos mantenimientos de dragado en zonas con alta influencia de partículas reposadas en el fondo del río para evitar estancamientos y roces con la quilla.

Con la aplicación de un modo acuático en la región es posible disminuir los costos logísticos en materia operacional y ambiental con el fin de cumplir con los objetivos planteados en el PMF y CONPES 3982 [99], pero bajo ciertas limitaciones y aspectos a tener en cuenta. El cálculo de los costos operacionales y de emisión de CO₂ se desarrollaron a partir de datos no locales, lo que quiere decir que en la aplicación estos resultados pueden fluctuar dependiendo de las diferencias de las condiciones locales con la información tomada de otros lugares. Como, por ejemplo, la tarifa del transporte fluvial es tomada a partir de un estándar emitido por el PMF respecto embarcaciones en el río Magdalena y otros ríos del país.

Un aspecto a tener en cuenta e importante para reducir los costos logísticos radica en la capacidad de la embarcación, mientras más cantidad se pueda transportar en un solo viaje, la emisión de gases es mucho menor y los costos operacionales se reducen por la cantidad de operarios y mantenimiento requerido, pero se debe conocer con exactitud la demanda

real del mercado en periodos cortos menores a un mes. Determinar la embarcación adecuada es preciso para evitar que las embarcaciones naveguen con poco peso respecto a su capacidad de transporte.

Existe una posibilidad de reducir aún más la emisión de CO₂ por medio de embarcaciones ecológicas, cuya energía sea suministrada por medio de baterías recargables con energía solar. Para el desarrollo de este proyecto sería necesario la financiación pertinente, se ha demostrado que estas embarcaciones que no afectan considerablemente al cambio climático y parcialmente se puede recuperar la inversión con el ahorro de combustible, además de que su emisión de gases es menor en comparación con una tradicional [70]. Cabe resaltar que el beneficio ecológico de estas embarcaciones radica en cantidades transportadas acordes a la capacidad de la embarcación, situaciones como en el caso de la ruta B2 que la demanda es de 14,5 T.M, resulta más factible transportar con un vehículo pequeño (camión C2) que en el caso de una embarcación con capacidad de 400 T.M (EC52).

Respecto a la infraestructura para los centros logísticos (puertos fluviales) y demás inversiones, algunas actividades deben ser realizadas posteriormente, por ejemplo, al diseño, al estudio de costos y mantenimiento (dragado).

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Vilorio, “Lorica, una colonia árabe a orillas del río Sinú,” *Cuadernos de Historia Económica y Empresarial*, no. 10. Banco de la República, Cartagena de Indias, 2003, [Online]. Available:
<http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/1963>.
- [2] D. L. V. GAVIRIA, “Geomorfología y Condiciones Hidráulicas del Sistema Fluvial del Río Sinú. Integración Multiescalar 1945 – 1999 - 2016,” Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [3] G. Amparo Alonso Másmela *et al.*, “Encuesta Nacional Logística,” *Documento de Planeación Nacional*, p. 182, 2018.
- [4] Ministerio de Educación Nacional, “Sistema Nacional de Información de la Educación Superior -SNIES-.”
<https://hecaa.mineducacion.gov.co/consultaspublicas/programas> (accessed Sep. 10, 2020).
- [5] D. J. Isaza, “Modelo de gestión de servicios logísticos especializados para las empresas comerciales de la ciudad de Montería, Córdoba (Colombia),” EAFIT, 2017.
- [6] E. A. Bermudez, “EL AGRO EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR FRENTE AL TRADADO DE LIBRE COMERCIO COLOMBIA - ESTADOS UNIDOS,” Universidad Tecnológica de Bolívar, 2009.
- [7] Ministerio de Transporte, “Transporte en cifras estadísticas,” 2018.
- [8] ARCADIS Nederland BV and JESYCA S.A.S., “Plan Maestro Fluvial de

Colombia,” 2015.

- [9] Z. Guo, W. Le, Y. Wu, and W. Wang, “A Multi-Step Approach Framework for Freight Forecasting of River-Sea Direct Transport without Direct Historical Data,” *Sustainability*, vol. 11, no. 15, p. 4252, 2019, doi: 10.3390/su11154252.
- [10] A. Vilarinho, L. B. Liboni, and J. Siegler, “Challenges and opportunities for the development of river logistics as a sustainable alternative: a systematic review,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 39, pp. 576–586, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.06.059.
- [11] M. M. Shah, “Sustainable Development Ecology and the Web of Life Ecological Stress Sustainable Development Education and Sustainable Development Sustainable Development: Not an Option, but a Twenty-First-Century Imperative Further Reading,” pp. 3443–3446, 2008, [Online]. Available: https://ac.els-cdn.com/B9780080454054006339/3-s2.0-B9780080454054006339-main.pdf?_tid=e82515e3-bc2a-4551-9aaf-185f1462134a&acdnat=1535105259_84f9505a986bbd93cc2f76c642cdea3c.
- [12] O. Seroka-Stolka, “The Development of Green Logistics for Implementation Sustainable Development Strategy in Companies,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 151, pp. 302–309, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.028.
- [13] O. D. Cruz Pineda and E. Lara Abello, “Socio-economic impact of the construction of an intermodal connection in Puerto Salgar, Cundinamarca,” *Cienc. y Tecnol. buques*, vol. 12, no. 23, p. 73, 2018, doi: 10.25043/19098642.172.

- [14] “Patrimonio Cultural - Caribia.” <http://patrimoniocaribe.weebly.com/patrimonio-cultural.html> (accessed Jun. 03, 2020).
- [15] “Montería Web - Córdoba - Colombia - Sur América.”
http://cordobaweb.orgfree.com/monteria_antigua.html (accessed Jun. 03, 2020).
- [16] B. Wiśnicki, “Determinants of River Ports Development into Logistics Trimodal Nodes, Illustrated by the Ports of the Lower Vistula River,” *Transp. Rlengthyesearch Procedia*, vol. 16, no. March, pp. 576–586, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.11.054.
- [17] Alcaldía de Montería, “Informe Recursos Naturales y Medio Ambiente Municipio de Montería,” Montería, 2018.
- [18] C. Ramirez and Y. Aguilera, “El transporte fluvial como estrategia competitiva por el Rio Magdalena y su articulación con la logística sincro-modal para generar ventajas al comercio internacional colombiano,” 2019.
- [19] Ministerio de Hacienda y Crédito Público and Ministerio de Transporte, “Conpes 3638,” Bogotá, 2010.
- [20] K. Acosta, “La economía de las aguas del río Sinú,” 2013.
- [21] DANE, “CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA,” 2018.
<https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/> (accessed Mar. 29, 2020).
- [22] “Las conclusiones del foro. Finalizó el RiverCity - LARAZON.CO.”
<https://larazon.co/temas-del-dia/las-conclusiones-del-foro-finalizo-el-rivercity/>
(accessed Aug. 17, 2020).

- [23] EL HERALDO, “Adjudican primera fase para construcción de Businú en Montería.” <https://www.elheraldo.co/cordoba/adjudican-primera-fase-para-construccion-de-businu-en-monteria-793002> (accessed Aug. 31, 2021).
- [24] Findeter, *DIAMANTE CARIBE Y SANTANDERES*, Primera Ed. Bogotá, 2016.
- [25] Y. R. Leguizamón Castillo, “Conflictos ambientales y movimientos sociales: el caso del movimiento embera katio en respuesta a la construcción de la represa Urrá (1994-2008),” *Mem. y Soc.*, vol. 19, no. 39, p. 94, 2015, doi: 10.11144/javeriana.mys19-39.cams.
- [26] K. Yapa, “El asesinato ceremonial del Río Sinú- Parte II.” <http://kyapa.tripod.com/urra/asesinatoceremonial2.htm> (accessed Aug. 19, 2020).
- [27] J. Mejía, “Otra vez está paralizada Urrá,” *EL TIEMPO*, 1992. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-225750> (accessed Aug. 19, 2020).
- [28] Comisión Colombiana de Juristas, *Situación de Derechos Humanos y Derecho Humanitario del pueblo Embera Katío del Alto Sinú, Cabildos Mayores de los ríos Verde y Sinú, Colombia*. Bogotá, 2013.
- [29] G. Costas, “Sedimentación | Ciencia y Biología,” 2014. <https://cienciaybiologia.com/sedimentacion-y-estratificacion/#comment-102359> (accessed Sep. 18, 2020).
- [30] CVS, ONAC, and Córdoba Hídrica y Biodiversa, “Informe sobre las amenazas de erosión fluvial e inundaciones en la cuenca del río sinú, departamento de córdoba,” 2014.

- [31] M. A. Jiménez, “MUTC - Un modelo de transporte en ríos: Aplicación al río Sinú,” p. 159, 2008.
- [32] Superintendencia de puertos y transporte, “Situacion_De_La_Infraestructura_Y_Transp.” 2018.
- [33] CVS and FUNSOSTENIBLE, “Actualización Del Plan General De Ordenación Forestal Del Departamento De Córdoba,” *Convenio De Cooperación N° 032 Del 2016 Celebrado Entre La Corporación Autónoma Regional De Los Valles Del Sinú Y Del San Jorge – Cvs Y La Fundación Para El Desarrollo Sostenible De Las Regiones Colombianas – Funsostenible*, no. INFORME FINAL. pp. 1–852, 2017.
- [34] E. Calderón, G. Galeano, and N. Garcia, *Libro rojo de plantas. Volumen 1: Fanerógamas de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2002.
- [35] Autoridad Nacional de Licencias (ANLA)., “Alertas Subzonas Hidrográficas Río Sinú y Alto San Jorge,” 2019.
- [36] W. D. Halliday, S. J. Insley, R. C. Hilliard, T. de Jong, and M. K. Pine, “Potential impacts of shipping noise on marine mammals in the western Canadian Arctic,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 123, no. 1–2, pp. 73–82, 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.09.027.
- [37] C. Peng, X. Zhao, and G. Liu, “Noise in the sea and its impacts on marine organisms,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 10, pp. 12304–12323, 2015, doi: 10.3390/ijerph121012304.

- [38] A. K. Jägerbrand, A. Brutemark, J. Barthel Svedén, and I. M. Gren, “A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems,” *Sci. Total Environ.*, vol. 695, p. 133637, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133637.
- [39] S. L. Nedelec, S. D. Simpson, E. L. Morley, B. Nedelec, and A. N. Radford, “Impacts of regular and random noise on the behaviour, growth and development of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*),” *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 282, no. 1817, 2015, doi: 10.1098/rspb.2015.1943.
- [40] T. W. Davies, J. P. Duffy, J. Bennie, and K. J. Gaston, “The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution,” *Front. Ecol. Environ.*, vol. 12, no. 6, pp. 347–355, 2014, doi: 10.1890/130281.
- [41] M. Thums *et al.*, “Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit,” *R. Soc. Open Sci.*, vol. 3, no. 5, 2016, doi: 10.1098/rsos.160142.
- [42] P. Szekeres *et al.*, “Does coastal light pollution alter the nocturnal behavior and blood physiology of juvenile bonefish (*Albula vulpes*)?,” *Bull. Mar. Sci.*, vol. 93, no. 2, pp. 491–505, 2017, doi: 10.5343/bms.2016.1061.
- [43] A. Brüning, F. Hölker, S. Franke, T. Preuer, and W. Kloas, “Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress,” *Sci. Total Environ.*, vol. 511, pp. 516–522, 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.094.
- [44] T. Le, *First Aid USMLE Step 1*. Mc Graw Hill, 2017.
- [45] F. Gabel, S. Lorenz, and S. Stoll, “Effects of ship-induced waves on aquatic

- ecosystems,” *Sci. Total Environ.*, vol. 601–602, pp. 926–939, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.206.
- [46] O. E. Sala *et al.*, “Global biodiversity scenarios for the year 2100,” *Science* (80-.), vol. 287, no. 5459, pp. 1770–1774, 2000, doi: 10.1126/science.287.5459.1770.
- [47] L. Vilmin, N. Flipo, C. de Fouquet, and M. Poulin, “Pluri-annual sediment budget in a navigated river system: The Seine River (France),” *Sci. Total Environ.*, vol. 502, pp. 48–59, 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.110.
- [48] J. Hilton and G. L. Phillips, “The Effect of Boat Activity on Turbidity in a Shallow Broadland River,” *J. Appl. Ecol.*, vol. 19, no. 1, p. 143, 1982, doi: 10.2307/2402998.
- [49] R. Arlinghaus, “Fish recruitment in a canal with intensive navigation: implications for ecosystem management,” *J. Fish Biol.*, vol. 61, no. 6, pp. 1386–1402, 2002, doi: 10.1006/jfbi.2002.2148.
- [50] S. Stoll and P. Beeck, “Larval fish in troubled waters - is the behavioural response of larval fish to hydrodynamic impacts active or passive?,” *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 69, no. 10, pp. 1576–1584, 2012, doi: 10.1139/F2012-086.
- [51] J. M. Roussel and A. Bardounet, “Ontogeny of diel pattern of stream-margin habitat use by emerging brown trout, *Salmo trutta*, in experimental channels: Influence of food and predator presence,” *Environ. Biol. Fishes*, vol. 56, no. 1–2, pp. 253–262, 1999, doi: 10.1007/978-94-017-3678-7_18.
- [52] S. Stoll and P. Fischer, “Three different patterns of how low-intensity waves can affect the energy budget of littoral fish: A mesocosm study,” *Oecologia*, vol. 165,

no. 3, pp. 567–576, 2011, doi: 10.1007/s00442-010-1793-z.

- [53] F. Gabel, S. Stoll, P. Fischer, M. T. Pusch, and X. F. Garcia, “Waves affect predator-prey interactions between fish and benthic invertebrates,” *Oecologia*, vol. 165, no. 1, pp. 101–109, 2011, doi: 10.1007/s00442-010-1841-8.
- [54] A. C. Utne-Palm, “Effects of larvae ontogeny, turbidity, and turbulence on prey attack rate and swimming activity of Atlantic herring larvae,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 310, no. 2, pp. 147–161, 2004, doi: 10.1016/j.jembe.2004.04.005.
- [55] M. del P. Arroyave *et al.*, “Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo,” *Rev. EIA*, vol. 5, pp. 45–57, 2006.
- [56] R. B. Primack, *Essentials of conservation biology (Vol. 23)*. Sunderland, 1993.
- [57] M. Goosem, “Fragmentation impacts caused by roads through rainforests,” *Curr. Sci.*, vol. 93, no. 11, pp. 1587–1595, 2007.
- [58] R. Noss, “ecology and biodiversity: The Ecological Effects of Roads.” <https://www.eco-action.org/dt/roads.html> (accessed Sep. 17, 2020).
- [59] F. Cupul, “Víctimas de la carretera: fauna apachurrada.” Centro Universitario de la Costa, México, 2002.
- [60] J. R. Esquivia, Y. Vega, A. Cabeza, Y. Cardenas, and J. Caraballo, “Recursos Naturales Municipio De Montería,” Montería, 2014.
- [61] R. Moller, “Gestión ambiental del transporte urbano bajo criterios de desarrollo sostenible,” *Ing. Recur. Nat. y del Ambient.*, no. 4, pp. 19–28, 2005.
- [62] R. Reijnen, R. Foppen, and H. Meeuwsen, “THE EFFECTS OF TRAFFIC ON

THE DENSITY OF BREEDING BIRDS IN DUTCH AGRICULTURAL GRASSLANDS,” 1996.

- [63] M. Goosem, *Internal fragmentation: the effects of roads, highways and powerline clearings on movements and mortality of rainforest vertebrates*. Chicago: University of Chicago Press, 1997.
- [64] FUNSOSTENIBLE, “CALIDAD DE AIRE EN MONTERÍA-CÓRDOBA 2017 - YouTube,” 2017.
- [65] Federal Motor Carrier Safety Administration, “Large Truck and Bus Crash Facts 2014,” no. March, p. 108, 2016.
- [66] J. Pahukula, S. Hernandez, and A. Unnikrishnan, “A time of day analysis of crashes involving large trucks in urban areas,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 75, pp. 155–163, 2015, doi: 10.1016/j.aap.2014.11.021.
- [67] D. M. Cerwick, K. Gkritza, M. S. Shaheed, and Z. Hans, “A comparison of the mixed logit and latent class methods for crash severity analysis,” *Anal. Methods Accid. Res.*, vol. 3–4, pp. 11–27, 2014, doi: 10.1016/j.amar.2014.09.002.
- [68] K. N. Figueroa Niño, “Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2017.” *Inst. Nac. Med. Leg. y Ciencias Forenses*, pp. 440–503, 2017, [Online]. Available: <http://www.medicinalegal.gov.co/documents/20143/49526/Forensis+2016.+Datos+para+la+vida.pdf>.
- [69] L. M. (SENA) Juan L.; Gomez M., Hernandez B., Maria E; Herrera H., Richard J.; Villalba A., “Estudio de caracterización transporte acuático - Subsector

transporte fluvial,” pp. 1–275, 2007, [Online]. Available:
repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2152/1/3083.pdf.

- [70] “Zero Emission Services.” <https://zeroemissionservices.nl/en/home-english/> (accessed Aug. 14, 2020).
- [71] H. E. Melin, “Analysis of the climate impact of lithium-ion batteries and how to measure it Commissioned by Transport & Environment,” no. July, pp. 1–17, 2019.
- [72] Portliner, “Ship EC52.” <https://www.portliner.nl/ships/ec52> (accessed Dec. 20, 2020).
- [73] Congreso de Colombia, “Ley N° 1242.” Bogotá, Colombia, pp. 1–18, 2008, [Online]. Available:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9863>.
- [74] Congreso de Colombia, “Ley N° 336.” Bogotá, Colombia, pp. 1–21, 1996, [Online]. Available: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1658312>.
- [75] Ministerio de Transporte, “Decreto N° 3112.” Bogotá, Colombia, pp. 1–18, 1997, Accessed: Mar. 28, 2020. [Online]. Available: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1514237>.
- [76] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Decreto N° 1076,” *D. Of.*, vol. 1, p. 654, 2015, [Online]. Available:
<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076->

Mayo-2015.pdf.

- [77] Ministerio de Transporte, “Resolución N° 2105.” Bogotá, Colombia, pp. 1–7, 1999.
- [78] Ministerio de Transporte, “Resolución N° 2104.” Bogotá, Colombia, pp. 1–6, 1999.
- [79] Congreso de Colombia, “Ley N° 99,” *D. Of.*, no. 41146, p. 44, 1993, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [80] Congreso de la República, “Ley N° 1333,” *Doc. Ley*, vol. 1, no. 5, p. 19, 2009.
- [81] Ministerio Interior y Ministerio de Justicia y del Derecho Encargado, “Decreto N° 1122,” vol. 31, no. 3, pp. 221–225, 1999.
- [82] K. Lurie *et al.*, “PM2.5 in a megacity of Asia (Karachi): Source apportionment and health effects,” *Atmos. Environ.*, vol. 202, no. January, pp. 223–233, 2019, doi: 10.1016/j.atmosenv.2019.01.008.
- [83] M. H. Askariyeh, S. H. Kota, S. Vallamsundar, J. Zietsman, and Q. Ying, “AERMOD for near-road pollutant dispersion: Evaluation of model performance with different emission source representations and low wind options,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 57, pp. 392–402, 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.10.008.
- [84] S. Liu, J. Xing, S. Wang, D. Ding, L. Chen, and J. Hao, “Revealing the impacts of transboundary pollution on PM2.5-related deaths in China,” *Environ. Int.*, vol. 134, no. November 2019, p. 105323, 2020, doi: 10.1016/j.envint.2019.105323.

- [85] P. Jun, M. Gillenwater, and W. Barbour, “CO₂ , CH₄ , and N₂O Emissions from Transportation-WaTer-Borne Navigation,” *Good Pract. Guid. Uncertain. Manag. Natl. Greenh. Gas Invent.*, pp. 71–92, 2001, [Online]. Available: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_4_Water-borne_Navigation.pdf.
- [86] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014 Synthesis Report*, vol. 9781107025. Geneva, 2014.
- [87] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, and CANCELLEERÍA, *Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero - Colombia*. Bogotá: Puntoaparte, 2016.
- [88] GeoAdaptive LLC, “Estudios de Desarrollo Urbano y Vulnerabilidad Ambiental- Módulo 3. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero,” Bogotá, 2014.
- [89] M. Gaitán and P. A. Cárdenas, *Guía para la elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*. 2017.
- [90] Ministerio de Transporte, “Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC.” https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/359/sistema_de_informacion_de_costos_eficientes_para_el_transporte_automotor_de_carga_sicetac/ (accessed Nov. 29, 2020).
- [91] Ministerio de Transporte, “Estadísticas de Carga Movilizada por Carretera,” 2020. <https://plc.mintransporte.gov.co/Estadísticas/Carga-Modo-Terrestre/Carga-Movilizada-Carretera-RNDC>.

- [92] CEFIC and ECTA, “Guidelines for Measuring and Managing CO2 Emission from Freight Transport Operations,” *Ecta Rc*, vol. march, no. 1. p. 19, 2011, [Online]. Available: https://www.ecta.com/resources/Documents/Best Practices Guidelines/guideline_for_measuring_and_managing_co2.pdf.
- [93] “Barcos de ocasión spits - Top Barcos.”
https://www.topbarcos.com/anuncios/barcos-de-ocasion_spits_a0 (accessed Aug. 25, 2021).
- [94] “Hagenaar.” <https://gerben.home.xs4all.nl/hagenaar.htm> (accessed Aug. 08, 2021).
- [95] “Haagvaarder 50 - De Hendrina Johanna Hagenaar - Wagenbrugger - Haagvaarder - SHIE.” <https://shie.nl/haagvaarder-50-de-hendrina-johanna-hagenaar-wagenbrugger-haagvaarder/> (accessed Aug. 08, 2021).
- [96] “List of emission factors | CO2 emission factors.”
https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/#totale_lijt (accessed Nov. 29, 2020).
- [97] iContainers, “iContainers | Cotiza tarifas de transporte marítimo internacional.”
<https://www.icontainers.com/es/> (accessed Feb. 01, 2021).
- [98] Superintendencia de Transporte, “Tarifas Sociedades Portuarias y Fluviales.”
<https://www.supertransporte.gov.co/index.php/superintendencia-delegada-de-puertos/tarifas-sociedades-portuarias-y-fluviales/> (accessed May 24, 2021).
- [99] C. Holmes and T. García, “POLÍTICA NACIONAL LOGÍSTICA,” 2020.

[100] “EL CASCO . 1 - PARTES Y ESTRUCTURA - Singladuras por la historia naval.” <https://singladuras.jimdofree.com/navíos-y-navegación/nomenclatura-básica/casco-partes-y-estructura/> (accessed Aug. 14, 2020).