

Determinantes de la contaminación por basura marina en los manglares urbanos de Cartagena de Indias: un enfoque sistémico

Determinants of marine litter pollution in urban mangroves of Cartagena de Indias: a systemic approach

Danny Ibarra Vega 

Escuela Ambiental, Facultad de Ingenierías, Universidad de Antioquia, Colombia

Alison Julieth Cortes Aguilar 

Escuela Ambiental, Facultad de Ingenierías, Universidad de Antioquia, Colombia

OPEN  ACCESS

Recibido:
20/05/2025
Aceptado:
11/09/2025
Publicado:
30/09/2025

Correspondencia:
danny.ibarra@udea.edu.co

DOI:
<https://doi.org/10.17081/invinno.13.2.8200>



Copyright 2025 by
Investigación e Innovación en
Ingenierías

Resumen

Objetivo: Analizar sistémicamente los determinantes de la contaminación por basura marina que afecta a los manglares urbanos de Cartagena de Indias, destacando su impacto en la biodiversidad y en los bienes y servicios ecosistémicos que estos proveen a la región. **Metodología:** El estudio se estructuró en cuatro fases: 1. Entendimiento del sistema socioambiental y recopilación de información normativa, socioeconómica y ecológica; 2. Representación sistémica mediante diagramas causales y georreferenciación del mapa de cobertura de manglares; 3. Identificación de relaciones causa-efecto entre fuentes de contaminación, impactos ecológicos y vacíos normativos; 4. Análisis e interpretación de resultados para proponer estrategias de intervención. **Resultados:** Se identificaron como principales determinantes de la contaminación: la inadecuada gestión de residuos sólidos, el crecimiento demográfico descontrolado, las actividades industriales y turísticas, y las falencias en la regulación ambiental. El uso de diagramas causales permitió visualizar las interacciones críticas que afectan la integridad ecológica de los manglares y las comunidades asociadas. **Conclusiones:** El enfoque sistémico empleado permite formular estrategias integrales de mitigación, como el fortalecimiento de políticas públicas, la mejora en la gestión de residuos y la promoción de la educación ambiental. Este estudio ofrece una base para replicar el análisis en otros ecosistemas urbanos costeros y fomentar decisiones estratégicas orientadas a la sostenibilidad ambiental.

Palabras claves: Residuos sólidos, Ecosistemas costeros, presión antrópica, diagramas causales, gestión ambiental.

Abstract

Objective: To systemically analyze the determinants of marine litter pollution affecting the urban mangroves of Cartagena de Indias, emphasizing its impact on biodiversity and the ecosystem goods and services these ecosystems provide to the region. **Methodology:** The study was structured into four phases: (1) Understanding the socio-environmental system and collecting normative, socioeconomic, and ecological information; (2) Systemic representation through causal loop diagrams and georeferencing of mangrove coverage maps; (3) Identification of cause-effect relationships among pollution sources, ecological impacts, and regulatory gaps; (4) Analysis and interpretation of results to propose intervention strategies. **Results:** The main determinants of pollution identified include inadequate solid waste management, uncontrolled demographic growth, industrial and tourism-related activities, and weaknesses in environmental regulation. The use of causal loop diagrams allowed the visualization of critical interactions affecting the ecological integrity of mangroves and their associated communities. **Conclusions:** The systemic approach applied enables the formulation of comprehensive mitigation strategies, such as strengthening public policies, improving waste management, and promoting environmental education. This study provides a foundation for replicating the analysis in other urban coastal ecosystems and supporting strategic decisions aimed at environmental sustainability.

Keywords: Solid waste, Coastal ecosystems, Anthropogenic pressure, Causal loop diagrams, Environmental management.

Como citar (IEEE): D. Ibarra-Vega y A. J. Cortes-Aguilar, "Determinantes de la contaminación por basura marina en los manglares urbanos de Cartagena de Indias: un enfoque sistémico," *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 13, no. 2, pp. 58–80, 2025, doi: <https://doi.org/10.17081/invinno.13.2.8200>

Introducción

Los manglares son ecosistemas esenciales localizados en las zonas intermareales de las costas tropicales y subtropicales. Su alta productividad ecológica y la capacidad de proporcionar bienes y servicios como la protección costera, el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad los convierten en sistemas críticos para el equilibrio ambiental [1, 2]. Sin embargo, los manglares urbanos, como los de Cartagena de Indias, enfrentan presiones antrópicas significativas debido a la urbanización acelerada, el turismo descontrolado y la deficiente gestión de residuos sólidos y factores asociados, los cuales han contribuido a una tendencia creciente de acumulación de basura marina, situación que ha sido reflejada en la pérdida progresiva de la calidad del ecosistema acuático.

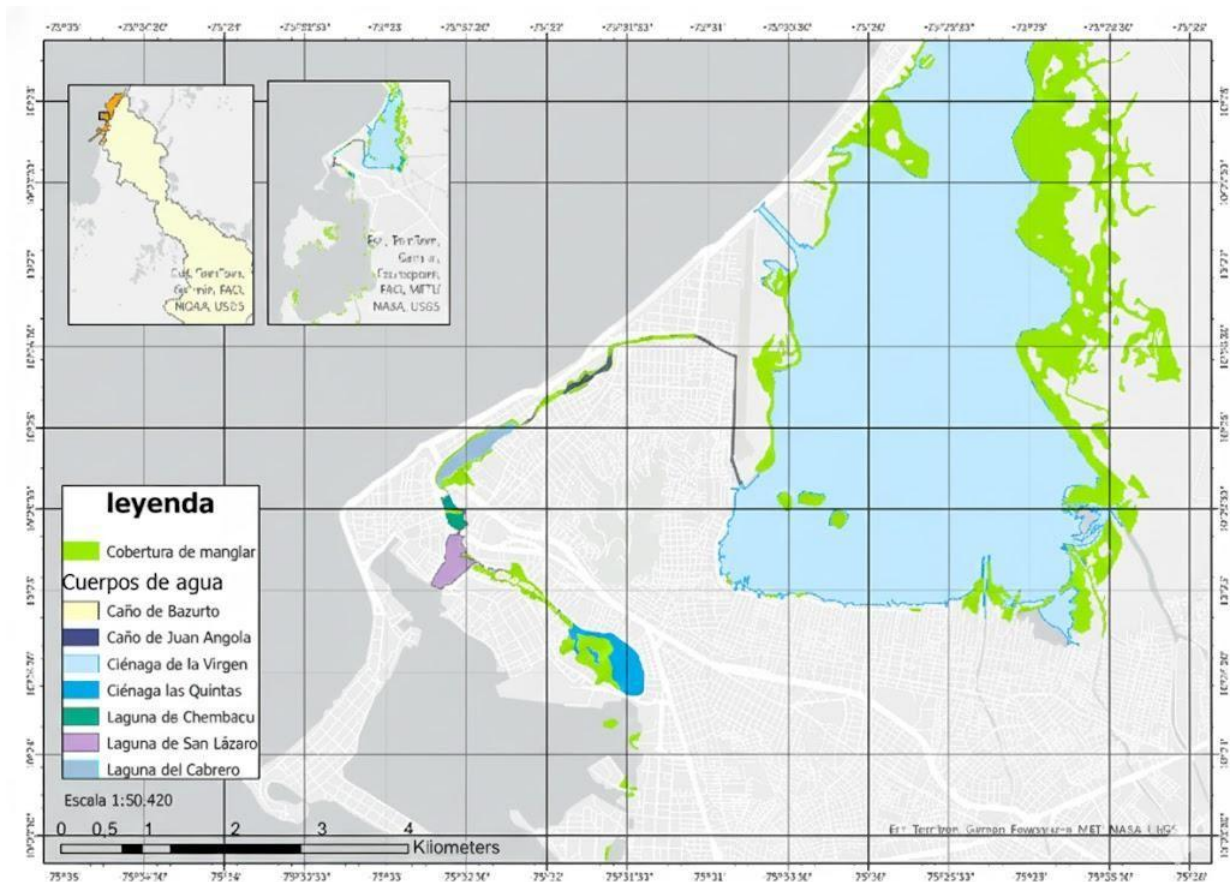
La contaminación por basura marina se considera una de las principales amenazas para los ecosistemas costeros y marinos. En Cartagena, los manglares actúan como sumideros naturales de residuos debido a su compleja estructura radicular, que retiene desechos plásticos, metálicos y orgánicos durante largos períodos [3, 4]. Esta situación no solo afecta la salud ecológica del manglar, sino también la calidad de vida de las comunidades que dependen de estos ecosistemas. Los manglares de Cartagena de Indias se caracterizan por estar integrados en el casco urbano formando un corredor biológico [5], [6], el cual es la única zona verde de la ciudad y una parte importante del espacio público de la ciudad [7]. En sus suelos se depositan grandes cantidades de residuos provenientes de las actividades antropogénicas que se realizan en las proximidades de estos ecosistemas, especialmente por el avance de obras civiles destinadas a la aplicación de los centros urbanos sobre las zonas de mangle, las adecuaciones para el turismo y la construcción y adecuación de los muelles en la Bahía de Cartagena [8].

El presente estudio adopta un enfoque sistémico para identificar y analizar los determinantes de la contaminación por basura marina en los manglares de Cartagena de Indias. Este enfoque permite evaluar las interacciones entre factores ecológicos, sociales y normativos, proporcionando una perspectiva integral para identificar soluciones sostenibles. A través del uso de herramientas como ArcGIS para el mapeo de coberturas de manglares y Vensim Ple, para el modelado del diagrama causal del sistema, se identificaron las fuentes de contaminación, los impactos asociados y las acciones necesarias para mitigar esta problemática. En las siguientes secciones se presentan la metodología utilizada, los resultados obtenidos, una discusión sobre las implicaciones de los hallazgos y recomendaciones para abordar de manera efectiva la contaminación por basura marina en los manglares urbanos de Cartagena.

Zona de estudio

Cartagena de Indias es la capital del departamento de Bolívar, se encuentra ubicada al norte de Colombia, limita al Norte y al Oeste con el Mar Caribe, al Sur con los municipios de Turbaco y Turbana, y al oriente con los municipios de Santa Rosa de Lima y Santa Catalina [9] tiene una extensión de perímetro urbano de 76 Km² que abarca el 95,6% de la población del Distrito [10]. En este sentido, es el principal centro urbano del Caribe y un importante foco de atracción y movilidad poblacional [11].

Figura 1. Mapa de Localización de los Cuerpos de agua y cobertura de manglar asociados al perímetro urbano de la ciudad de Cartagena.



Fuente: elaboración propia.

Cartagena posee una identidad morfológica peculiar al estar compuesta por una serie de islas, penínsulas y cuerpos interiores de agua [12], (Ver Figura 1) en los cuales se desarrollan cuatro especies de mangle: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle prieto), *Laguncularia racemosa* (mangle bobo) y *Conocarpus erecta* [8], abarcando una cobertura de alrededor de 162,46 ha, distribuida en las áreas de la Bahía de Cartagena, los Caños y Lagunas Internas, y el Complejo Cenagoso de la Virgen y Juan Polo [13].

Basura Marina

Colombia aún no existe una definición concreta de “basura marina” [14]. Para subsanar esta laguna, Zamora et al. propusieron anclar su delimitación en el metabolismo social, la definición de la UNEP y los estudios jurídicos sobre gestión de residuos.

Desde décadas atrás, los ecosistemas marinos y costeros han sido identificados como receptores de desechos mal gestionados [15]. Dado el daño que esto provoca en la salud de estos ambientes y en la conservación de la biodiversidad, se ha reconocido este fenómeno como uno de los principales contaminantes de estas zonas, denominándolo “basura marina” [14]. Naciones Unidas-UNEP describe el término como “todo material sólido y duradero, manufacturado o procesado, que se descarta, elimina o abandona en el medio marino y costero” [16]. Actualmente se estima que entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de estos residuos son incorporados cada año a los océanos y las zonas costeras [17].

El metabolismo social analiza los flujos de energía y materiales en la sociedad, dividiéndose en cinco fases: apropiación (A), transformación (T), circulación (C), consumo (Co) y excreción (E). La basura se ubica en la etapa de excreción, entendida como la expulsión de materiales y energía de la sociedad hacia la naturaleza [18].

Zamora, en [14], también advierten que la normativa colombiana emplea de forma indistinta “basura”, “residuos sólidos”, “desechos” y “desperdicios”, agrupándolos bajo el mismo rubro y aplicando exclusivamente medidas de eliminación, lo cual impide aprovechar su potencial de reutilización en el ciclo productivo [14]. Por ello, en el contexto nacional se propone entender por basura marina “aquellos desechos, desperdicios y residuos sólidos excluidos o no contemplados en la política pública de gestión integral de residuos sólidos y depositados en la zona marino-costera, ya sea por actividades antrópicas propias de estas áreas o transportados hasta allí por corrientes, escorrentías u otros medios” [14].

Este concepto abarca materiales como plásticos, metales, textiles, escombros y vidrio, si bien varios estudios coinciden en que más del 80 % de su composición está constituido por plásticos [19], [20].

Según Agamuthu et al. [21], la basura marina se clasifica en tres tipos:

- Depositada: aquella que permanece en los ecosistemas costeros, influenciada por la proximidad a zonas urbanas, la orografía y los patrones de viento.
- Flotante: residuos que, debido a su naturaleza, pueden desplazarse largas distancias impulsados por corrientes oceánicas y vientos.
- Sumergida: materiales que se hunden y quedan retenidos en áreas de baja circulación en el fondo marino.

Manglares como sumideros de basura marina

Los manglares son vulnerables a la contaminación por basuras marinas porque poseen un sistema radicular que está conformado por fúlcreas y neumatóforos que permiten el intercambio gaseoso y facilitan la estabilización de la planta en sustratos inestables, estas estructuras forman un sistema intrincado que favorece a tasas de retención y acumulación más eficientes, incluso a bajas densidades de contaminación [3 y 4]. Esto provoca que los desechos en la vegetación de manglar durante meses, años o incluso décadas en comparación con otros hábitats que poseen dinámicas abiertas [22]. Adicionalmente, poseen una tasa positiva de sedimentación y acreción costera que los convierte en sumideros ideales para desechos antropogénicos [23].

En la Bahía de Cartagena se han identificado micro plásticos, con una predominancia de pellets blancos que oscilan entre el 55,6 % y el 63,8 % del total muestreado [24]. De forma paralela, los análisis en playas de la ciudad revelaron densidades de 815 ± 234 ítems/m² en Punta Arena y 1387 ± 1153 ítems/m² en Castillogrande [4], [25]. Estos hallazgos han posicionado a Cartagena como un verdadero punto crítico (hotspot) de contaminación por micro plásticos en Latinoamérica [26], situación potenciada por su industria plástica y la proximidad de zonas fabriles a los cuerpos de agua.

Por otra parte, los manglares han sido tradicionalmente estigmatizados como “malezas” de olores ofensivos y carentes de valor social; se les asocia incluso con riesgos de salud y seguridad, al funcionar como letrinas, vertederos y refugio de consumidores de estupefacientes y delincuentes [7, 8 y 27].

Entre las áreas más afectadas se destaca el Sistema de Caños y lagunas Internas, allí se depositan de basuras de entre más 50 toneladas diarias en los bordes, esto provoca el estancamiento, oscurecimiento y mal olor de las aguas. Siendo uno de los tramos más contaminados el Caño Juan Angola, en el cual se presenta el amontonamiento de toda clase de plásticos, residuos domésticos, y aparatos electrónicos. [30, 31 y 27].

Figura 2. Acumulación de basura marina en los cuerpos de agua asociados a manglares en la ciudad de Cartagena. A) basurero satélite en la Avenida del Lago junto a la Ciénaga de Las Quintas.; B) Solidos suspendidos en el agua superficial en la Ciénaga de la Virgen; C) Basurero junto al borde del manglar en la boca del Caño Juan Angola.



Fuente: A [28]; B [29] y C [13].

Los manglares de la Bahía de Cartagena están constituidos por vegetación remanentes en forma de islas, las cuales son objeto de acumulación recurrente de basuras, principalmente plásticas, por acción de la marea. Por otro lado, Los manglares asociados a las zonas terrestres que bordean las ciénagas también poseen presencia de basura acumulada en los sedimentos [30 y 31].

El complejo Cenagoso de la Virgen y Juan Polo presenta acumulación de basura en las florestas, especialmente plásticos y poliestireno. En esta área los individuos de *R. mangle* acumulan grandes cantidades de basura plástica en su sistema de raíces. De igual manera, los individuos de mangle blanco *Laguncularia racemosa* que se agrupan en la carretera reciben escombros y basuras de las construcciones vecinas y de los merodeadores de corregimiento de La Boquilla [30, 31 y 32].

Figura 3. Acumulación de basura en bordes de los cuerpos de aguas asociados a manglares. A) basurero satélite en los bordes de la Ciénaga de la Virgen; B) Basura arrojada por la comunidad en el borde del manglar en el Caño Juan Angola; C) Residuos sólidos suspendidos en el Caño Juan Angola.



Fuente: [6] y [13]

Metodología

El presente estudio adopta un enfoque sistémico para analizar los determinantes de la contaminación por basura marina en los manglares de Cartagena de Indias. La metodología se estructuró en cuatro etapas principales:

Recolección y análisis de información: Se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica, normativa ambiental y reportes técnicos provenientes de fuentes como Google Academic, bases de datos académicas sciendirect y scopus, y documentos institucionales.

Se recopilaron datos cartográficos sobre la cobertura de manglares y cuerpos de agua en Cartagena, utilizando información del INVEMAR y ArcGIS Online.

Modelado y estructura sistémica: Se utilizó el software ArcGIS Pro-3.0.0 para elaborar el mapa que representa la geolocalización espacial de los manglares y las áreas afectadas por la contaminación.

Se construyó un diagrama causa-efecto mediante Vensim Ple 10.1.4, identificando las relaciones entre las fuentes de contaminación, los impactos ecológicos y las posibles respuestas normativas.

Observación en campo y registro fotográfico: Se llevaron a cabo visitas a los manglares urbanos para observar directamente las condiciones de contaminación, registrar evidencia fotográfica y recolectar información cualitativa sobre las actividades humanas en las zonas de estudio.

Análisis FODA: Se elaboró una matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) basada en los datos recopilados, evaluando las capacidades institucionales, normativas y sociales para abordar la problemática.

Esta metodología permitió integrar aspectos cualitativos y variables sistémicas, proporcionando una comprensión integral de los determinantes que contribuyen a la contaminación por basura marina en los manglares urbanos de Cartagena.

Resultados

Descripción de las fuentes de contaminación

Según Luo et al., [33] y Bolívar et al. [34], las franjas terrestres adyacentes a los manglares acumulan mayor cantidad de basura marina y abarcan superficies más amplias, lo cual se relaciona con su cercanía a zonas urbanas [2], que aportan tanto residuos sólidos como efluentes domésticos y derivados de actividades socioeconómicas [14].

En el caso de Cartagena, se estima que el 80 % de la basura marina proviene de fuentes terrestres principalmente turismo, vertidos domésticos, agrícolas e industriales, desechos depositados de forma ilegal, aguas residuales y escorrentías rurales o urbanas, mientras que el 20 % restante tiene origen marítimo, entre los que se incluyen la pesca industrial y naviera, embarcaciones recreativas, acuicultura, pesca de recreo y transporte por vía marítima [35-37].

Teniendo en cuenta esta clasificación, la Tabla I presenta las fuentes principales de basura marina en la ciudad.

Table I. Comparison of the CNN developed with respect to another research.

Tipo	Fuentes	Referencia
	Residuos domésticos mal manejados	[38]
	Basuras depositadas directamente en los manglares	[30]
	Asentamientos ilegales	[30y 39]

Terrestre	Canales de aguas lluvias	[40]
	Descarga de aguas residuales domesticas e industriales	[32 y 30]
	Zona industrial Mamonal	[41]
	El aporte continental del Canal del Dique	
marítimas	Terminales portuarias que corresponden al Corredor Industrial de Mamonal	[41]
	Actividades turísticas marítimas	[42]
	Actividades de pesquería	[43]

Fuente: Elaboración propia.

Impactos asociados a la presencia de basura marina en los manglares

La evidencia global recopilada en la Tabla 2 indica que, conforme los manglares reciben y retienen más basura marina, su estado de salud se ve mermado por múltiples impactos que comprometen su estructura ecológica. Este deterioro no solo empeora las condiciones ambientales del propio mangle, sino que también termina pasando factura a las comunidades que dependen de los servicios y recursos que este ecosistema les brinda.

Table 2. Impactos ambientales identificados en la revisión bibliográfica en los ecosistemas de manglar en su componente abiótico, biótico (vegetal y faunístico) y socioeconómico.

Componente	Impactos	Referencia
Vegetal	Perdida de follaje, aplastamiento y muerte de las estructuras vegetales	[44 y45]
	Impide la fotosíntesis	[44]
	la proliferación y colonización de agentes infecciosos causantes de enfermedades	[44]
	Impide el establecimiento de los propágulos y su crecimiento	[4]
	Obstruye estas estructuras limitando el intercambio gaseoso.	[15]
	Causa malformaciones	[4]
Produce eventos de estrangulamiento, deformaciones, amputaciones y ahogamiento.		
Fauna	Proporciona microhábitats para diversas especies colonizadoras.	[46]
	La ingesta accidental puede obstrucción y daño de órganos internos; adsorción de sustancias que causan disrupción endocrina o son mutagénicos o genotóxicos.	[47, 48, Y 49].
	Causa el aumento de partículas suspendidas y la generación de malos olores.	[4]
Abiótico	Liberación de lixiviados que pueden cambiar las propiedades fisicoquímicas del agua y los sedimentos.	[49 y 50]
	Cambios en la estructura de la física del suelo	[4]
	Promueven vías metabólicas anaeróbicas que provocan la descomposición y/o mineralización del carbono capturado en	[51;52].

	los sedimentos, así como alteraciones en el recambio del nitrógeno.	
Socioeconómico	Lesiones y heridas a los pescadores	[53]
	Produce la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por artrópodos promover enfermedades transmitidas por el agua.	
	Obstrucción del área de caños y lagunas de la ciudad, causando el flujo adecuado del agua lluvia e inundaciones.	[54]

Fuente: Elaboración propia.

Según la valoración cualitativa de impactos ambientales presentada en [4], la presencia de partículas plásticas en los sedimentos ocasiona las alteraciones más graves en la calidad del suelo. Asimismo, se registran efectos significativos en la estructura física del terreno, en la pureza del agua, en la capacidad de regeneración natural del manglar, en las condiciones fitosanitarias, en la fauna asociada y en la estética del paisaje.

Marco político y normativo nacional y municipal aplicable a la gestión de basuras marinas

La Constitución Política de Colombia, en su artículo 79, consagra el derecho de todas las personas a disfrutar de un entorno saludable y encarga al Estado la protección de la diversidad e integridad ambiental, así como la conservación de las zonas de especial valor ecológico. Complementariamente, el artículo 80 impone al Estado la obligación de prevenir y controlar los agentes que provocan el deterioro ambiental, lo cual implica diseñar e implementar políticas públicas que ofrezcan soluciones a los desafíos ecológicos.

Sin embargo, según el diagnóstico de Zamora [14], en Colombia no existe una regulación específica ni un marco sancionatorio dedicado exclusivamente al manejo de la basura marina. Por esa razón, la mayor parte de la normatividad aplicable lo hace de forma indirecta, tal como se detalla en la Tabla 3.

Table 3. Normativa aplicable a la gestión de basuras marinas en los manglares.

Instrumento	Descripción
Decreto 1875 de 1979	Dicta disposiciones sobre la contaminación marina
Resolución 1481 de 2018	Establecen requisitos para los fabricantes e importadores de plásticos.
Resolución 2184 de 2019	Dicta la adopción de código de colores para la separación en la fuente.
Decreto 1076 de 2015	Regula la contaminación marina
Decreto 2981 de 2013	Reglamenta la prestación del servicio público de aseo PGIR.
Resolución 1407 de 2018	Reglamenta el uso de envases y empaques plásticos.
Resolución 668 de 2016	Regulación del uso de bolsas plásticas.
Ley 2232/2022	Se establece la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos plásticos de un solo uso
Decreto 478 de 2022	se reglamenta el reemplazo y regulación de los plásticos de un solo uso en entidades de nivel central y descentralizado del Distrito de Cartagena de Indias
Normativa sobre los manglares en Colombia y Cartagena de Indias	
Resolución 1602 de 1995	Dictan medidas para garantizar la sostenibilidad de los Manglares en Colombia.

Resolución 020 de 1996	Se ordena los estudios sobre el estado de los manglares, y se exigen licencias ambientales para las otras industrias o actividades que utilizan el manglar o sus recursos asociados
Resolución 257 de 1997	Se establece un sistema de monitoreo y control de la calidad de las aguas, flora, fauna y suelos de los ecosistemas de manglar
Artículo 2.2.2.3.2.4 del Decreto 1076 del 2015	Reconoce a los manglares como ecosistemas de especial importancia ecológica.
Decreto 1641 de 2020	Por el cual se actualiza el PGIRS
Decreto 0977 de 2001	POT vigente de la ciudad de Cartagena, establece las áreas de manglar que son objeto de protección y conservación de los recursos naturales y paisajísticos del distrito y de medidas de manejo de las áreas de protección.
Decreto 1120 de 2013	Se reglamentan las Unidades Ambientales Costera (UAC) a partir de las cuales se establece el POMIUAC (Plan de ordenación y manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera). La zona Costera de Cartagena se ubica en el UAC rio Magdalena complejo Canal del Dique sistema lagunar Ciénaga Grade de Santa Marta.
Linias estratégicas y Políticas públicas Nacionales	
CONPES 3164: Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia (PNAOCI).	Propende el desarrollo sostenible de las actividades productivas en armonía con la conservación y preservación de los ecosistemas y recursos marinos y costero.
Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un solo uso.	Su objetivo es proteger los recursos naturales y fomentar la generación de nuevas oportunidades de negocio.
CONPES 3090/2020: Colombia Potencia Bioceánica Sostenible	Propone gestionar las fuentes de contaminación y el consecuente deterioro de la calidad ambiental marina, desde la generación de instrumentos para la gestión del ordenamiento marítimo y territorial y la gestión de ecosistemas marianos y sus servicios ecosistémicos.
Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC).	Busca la reducción de residuos sólidos descargados en el ambiente.
CONPES 3874: Política Nacional Para la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Pretende eliminar las formas inadecuadas de disposición final; establecer articulación institucional para fortalecer el aprovechamiento de residuos, y la implementación de esquemas de tratamiento.

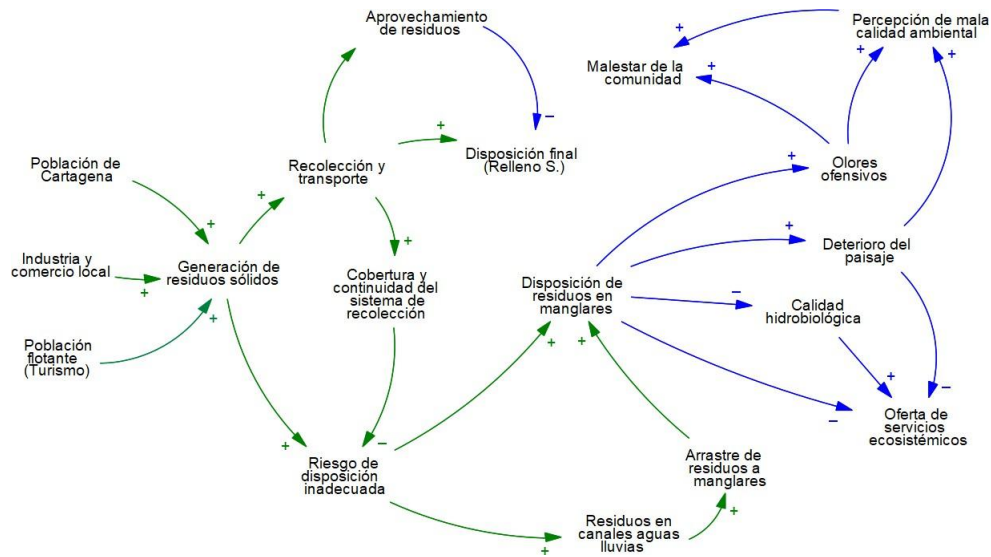
Fuente: Elaboración propia, basado en [55, 8 y 14].

Enfoque sistémico

Una vez realizada la revisión de diferentes fuentes tanto de investigación, como de documentos técnicos oficiales de la ciudad, se procedió a construir un diagrama causal, o también conocido como diagrama de relaciones causales. Este diagrama muestra las principales variables que participan en la generación y acumulación de residuos, transformándose en basuras marinas. Las flechas de color verde, representa el componente de generación de residuos, y las flechas en color azul el

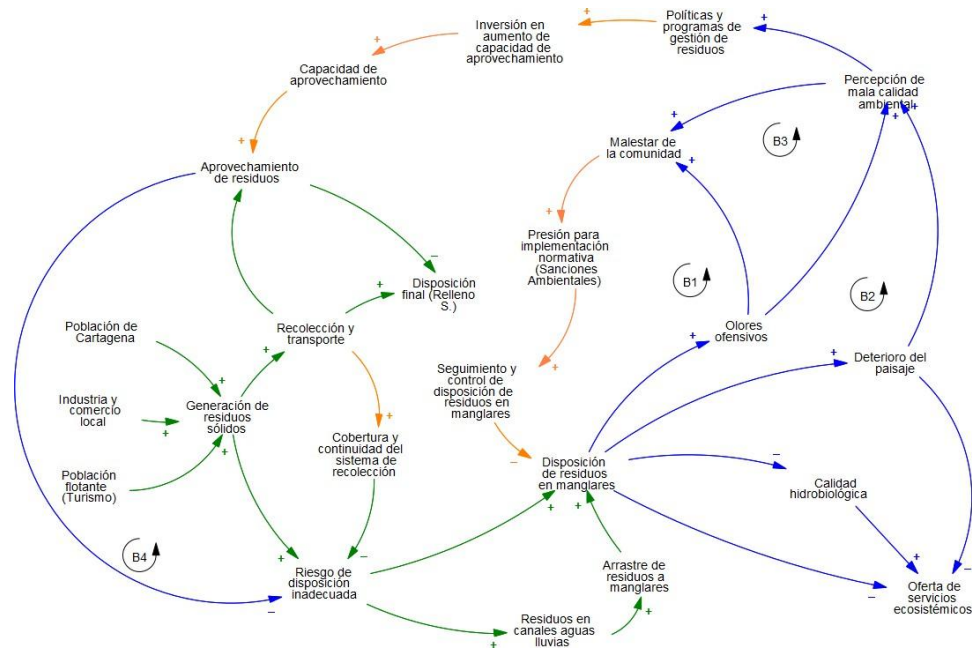
componente o impacto socio ambiental generado. En la figura 4, se muestra la primera aproximación a la comprensión sistémica del problema estudiado, sin embargo, en esta figura se evidencian, solo relaciones lineales causan efecto.

Figura 4. Diagrama de relaciones causales inicial.



Fuente: elaboración propia, basados en [13].

Figura 5. Diagrama de relaciones causales inicial.

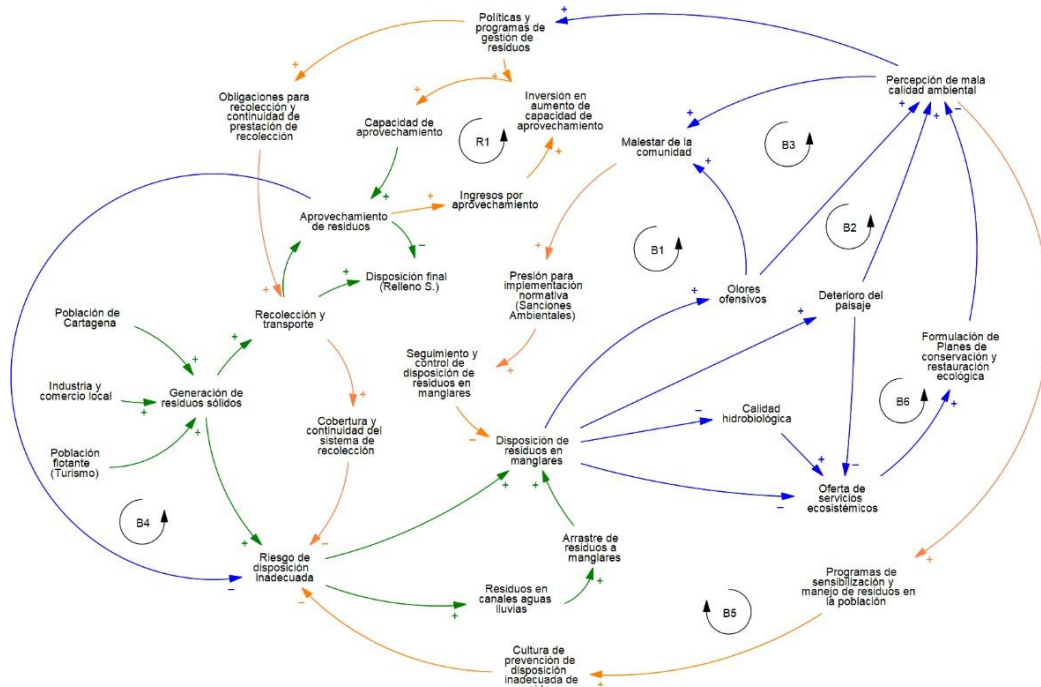


Fuente: elaboración propia, basados en [13].

En la siguiente figura, se muestra el diagrama final en el que se consideran integralmente factores socioeconómicos (población, industria y turismo), operativos (sistemas de recolección y aprovechamiento) y ambientales (calidad hidrobiológica, servicios ecosistémicos, etc.). Se identifican mecanismos de control institucional (normativas, sanciones, programas de sensibilización) y respuestas comunitarias (percepción de calidad ambiental, malestar). Las interacciones están codificadas con distintos colores: Flechas verdes representan la generación y

manejo operativo de residuos. Flechas azules, reflejan impactos ambientales y sociales. Flechas naranjas, muestran mecanismos institucionales y económicos. A continuación, se explican los principales bucles de retroalimentación identificados

Figura 6. Diagrama de relaciones causales inicial.



Fuente: elaboración propia, basados en [13].

El B1, se asocia al malestar de la comunidad. Cuando la disposición de residuos en manglares aumenta, la comunidad percibe malestar debido a los impactos negativos (olores ofensivos, deterioro paisajístico, calidad ambiental deficiente). Esto genera una presión social para mejorar la gestión de residuos, promoviendo la implementación de normativas y sanciones ambientales. Estas sanciones buscan reducir la disposición inadecuada, cerrando el ciclo de regulación negativa.

El B2, y el B3, se asocian al impacto paisajístico y calidad ambiental. El deterioro del paisaje y la mala calidad ambiental disminuyen la percepción positiva del entorno. Esto puede llevar a implementar planes y programas de gestión de residuos y programas de sensibilización y manejo de residuos en los actores implicados, estos planes buscan reducir la contaminación en los manglares y mejorar su estado, contrarrestando el problema inicial.

El B4, Se le puede denominar el control del riesgo de disposición adecuada, en función del aprovechamiento. Aquí se evidencia que Más población, turismo e industria generan mayor producción de residuos sólidos. Sin un sistema de recolección eficiente, hay riesgo de disposición inadecuada. Si este riesgo aumenta, se generan medidas para mejorar el aprovechamiento de residuos la cobertura y continuidad del sistema de recolección, controlando el problema.

El B5, y B6 se asocia a la sensibilización y prevención. La disposición inadecuada de residuos genera un aumento de residuos en canales de aguas lluvias, los cuales pueden ser arrastrados a los manglares, esto disminuye la calidad hidrobiológica, los servicios ecosistémicos. La presencia de estos residuos y al conocer la oferta de servicios ecosistémicos, puede generar una respuesta institucional en forma de planes de conservación y restauración, así como el incentivo a programas de sensibilización y manejo de residuos en la población, a

largo plazo, esta acción reduciría la contaminación y mejora la calidad del ecosistema.

De otro lado, a diferencia de los bucles de balance, el bucle RI es de refuerzo, es decir, genera efectos acumulativos.

Políticas y programas de gestión de residuos incentivan la inversión en aumento de capacidad de aprovechamiento de residuos. A mayor capacidad de aprovechamiento, mayor cantidad de residuos valorizados, reduciendo la necesidad de disposición final en rellenos sanitarios. Esto genera ingresos por aprovechamiento, incentivando aún más la capacidad de aprovechamiento. A su vez, la existencia de un mercado de valorización puede promover la creación de normativas que refuercen la separación y reciclaje de residuos, reforzando el ciclo positivo.

Discusiones y hallazgos

A manera de síntesis se identificaron cuatro determinantes de contaminación en los manglares de Cartagena de Indias, estos se discuten a continuación:

Dinámica poblacional y generación de residuos: Los estudios poblacionales indican que Cartagena de Indias atraviesa un acelerado crecimiento demográfico acompañado de un Índice de Presión Demográfica (IPD) elevado. En términos prácticos, esto implica una mayor carga sobre la infraestructura de saneamiento y los sistemas de gestión de residuos, como si la ciudad exigiera un “servicio exprés” de recolección. Al mismo tiempo, aumenta la demanda de recursos y servicios ambientales necesarios para sostener su funcionamiento y mantener el orden urbano.

En Cartagena se generan diariamente cerca de 1,28 kg de residuos sólidos por habitante, lo que suma alrededor de 484.282 toneladas al año. De ese total, apenas el 1,06 % aproximadamente 5.146 toneladas se destinan al reciclaje. Estas elevadas tasas de generación aumentan la probabilidad de vertidos inadecuados, dado que el servicio público de aseo carece de la capacidad institucional necesaria para garantizar la continuidad y eficiencia de los programas de recolección. Tanto las políticas públicas como la infraestructura local han quedado rezagadas respecto a los lineamientos nacionales y al ritmo del crecimiento demográfico. Además, la limitada cultura ambiental y el escaso sentido de pertenencia de la ciudadanía hacia los espacios urbanos favorecen el surgimiento de focos críticos de residuos, especialmente en las zonas más vulnerables, muchas de las cuales coinciden con ecosistemas estratégicos como los manglares.

Actividades Económicas: En la zona de manglares, diversas actividades socioeconómicas generan residuos sólidos. Por ejemplo, en el entramado de caños, lagunas y ciénagas, la pesca artesanal produce desechos como líneas de nylon, redes, cuerdas, pesos y boyas. Estos pescadores comercializan sus capturas de manera informal en el Mercado de Bazurto, donde la falta de contenedores adecuados provoca que gran parte de estos materiales termine descartada directamente en las ciénagas [42], [56].

La zona industrial de Mamonal alberga alrededor de 260 empresas, principalmente dedicadas a la producción petroquímica y plástica, concentrando el 70 % del sector petroquímico de la Región Caribe. Además, en esta área operan plantas de bebidas no alcohólicas, curtidurías, cementeras, metalmecánicas, industrias del petróleo y plaguicidas, así como procesadoras de lácteos, carnes, pescados y mariscos, cuyas descargas de residuos han sido vertidas históricamente en la Bahía de Cartagena [57], [41].

Turismo: Por otra parte, la población flotante asociada al turismo incrementa la presión sobre los ecosistemas marino-costeros durante las temporadas de mayor afluencia [25]. En 2023, Cartagena recibió 3 150 436 visitantes por vía aérea y 1 381 998 por vía terrestre, lo que intensifica la generación y el manejo de residuos, sobre todo porque buena parte de la oferta turística se desarrolla en las proximidades de los manglares o directamente en ellos, como en las rutas de avistamiento de aves en la Ciénega de la Virgen [11].

Ese mismo año se registraron 64 recaladas de cruceros, con 110 495 pasajeros y 46 968 tripulantes, cuyos desplazamientos náuticos generan basura (tetrapacks, botellas, latas metálicas, guantes y bolsas de plástico, etc.), además de sólidos en suspensión y contaminación por objetos perdidos o caídos al mar [11].

La existencia de vacíos en el marco jurídico y las políticas públicas, impiden que las autoridades ambientales locales posean herramientas para monitorear, diagnosticar, prevenir y obligar los actores contaminantes a cumplir estándares de protección.

Figura 6. Fuentes e impactos asociados a la presencia de basura marina en los ecosistemas de manglar A-B) asentamientos e invasiones ilegales en la Ciénega de la Virgen; C) fauna conviviendo con la basura en la Ciénega de las Quintas frente al mercado de Bazurto. D) Actividades de Pesca en la Ciénega de la Virgen por el Sector de la Perimetra.



Fuente: A) [58]; B) [59]; C) [13]; D) [13].

Haciendo recorridos por la ciudad, se puede discutir que los manglares urbanos de Cartagena han albergado siempre asentamientos informales (Fig. 7A). Estos poblados carecen de redes de acueducto, alcantarillado y recolección de residuos, por lo que las aguas residuales y los residuos sólidos se vierten directamente en el ecosistema más cercano. Adicionalmente, el sistema de drenajes que evacua la escorrentía de la ladera nororiental y las conexiones clandestinas al alcantarillado sanitario han contribuido al vertido de aguas negras en la ciénega. La ciudad dispone, además, de 154 canales pluviales (62 km) que descargan directamente en los cuerpos de agua interiores, arrastrando y depositando grandes cargas de residuos sólidos en suspensión que afectan la calidad del agua de las ciénegas [40].

Desde el punto de vista ecológico, las especies de mangle presentes, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, poseen neumatóforos que actúan como trampas para la retención de desechos marinos [60], mientras que *Rhizophora mangle* forma un entramado radicular que facilita la acumulación de materia flotante [4].

Los residuos que llegan a los manglares no solo generan impacto paisajístico, sino que alteran profundamente las interacciones entre organismos y medio. A diario, aves como los pelícanos buscan alimento entre los desechos acumulados en las orillas, y los peces incorporan fragmentos de plástico y fibras sintéticas en su organismo. Este contacto constante con materiales extraños implica un riesgo para la salud de la fauna, pues compromete su alimentación, su comportamiento natural y, en última instancia, su capacidad de reproducción.

En la socialización realizada con biólogos expertos, se identificaron indicios de que estas alteraciones están afectando a poblaciones de especies clave del ecosistema de manglar urbano. En particular, se mencionó la disminución de ejemplares de róbalo (*Centropomus undecimalis*), un depredador estuarino cuya reproducción y capacidad de caza se ven comprometidas por la acumulación de basura en el lecho marino y por los cambios en la dinámica del sedimento. De igual forma, la jaiba azul (*Callinectes sapidus*), esencial en las redes tróficas del manglar, enfrenta atrapamientos y restricciones en sus desplazamientos debido a residuos plásticos que se acumulan entre raíces y fondos blandos. Paralelamente, las comunidades que habitan en torno a estos ecosistemas dependen de servicios esenciales como provisión de alimentos, protección costera y recursos maderables, por lo que experimentan de manera directa las consecuencias de su degradación, especialmente en contextos de pobreza y vulnerabilidad alimentaria.

Haciendo una comparación con la bibliografía, se puede resaltar los tensores sobre los manglares propuestos por Álvarez-León y Polanía [61] y mencionados por [62]

- 1) Aquellos que alteran la fuente principal de energía.
- 2) Aquellos que desvían una porción de la energía principal antes de que se incorpore al sistema.
- 3) Aquellos que remueven la energía potencial antes de que se almacene, pero después de ser transformada durante la fotosíntesis.
- 4) Aquellos que extraen la energía almacenada y/o aquellas que remueven cualquier otra porción de la estructura del ecosistema
- 5) Aquellos que incrementan la tasa de respiración.

Los impactos descritos permiten considerar la basura marina como un tensor de tipo 4, puesto que altera la complejidad del ecosistema al modificar la riqueza de especies, sus densidades relativas y las interacciones ecológicas a lo largo del tiempo y el espacio, provocando mortalidad de plántulas e impidiendo el establecimiento de nuevos propágulos. Asimismo, puede clasificarse como tensor de tipo 5, al obstruir e incluso deformar las raíces y los neumatóforos, comprometiendo los procesos de intercambio gaseoso.

Reconociendo a la basura marina como un factor estresante clave, es imperativo implementar medidas que disminuyan su presencia en los manglares, así como incrementar la conciencia pública, fomentar cambios en el comportamiento de los turistas y mejorar la infraestructura de gestión de residuos, todo enmarcado dentro de programas prioritarios de protección marina [64].

Sin embargo, el panorama actual revela carencias en los instrumentos de gestión (Tabla 4) que es necesario superar. Existe, no obstante, una ventana de oportunidad: la resolución 257 de 1997 exige la creación de sistemas de monitoreo de la calidad ambiental en manglares, lo que permitiría integrar los efectos de la basura marina—aunque aún no esté definida explícitamente en la legislación nacional bajo los conceptos de “contaminante” y “contaminación marina” ya contemplados en el Decreto 1875 de 1979. De este modo, los impactos de los desechos podrían incorporarse formalmente en los programas de seguimiento y control ambiental.

Table 4. Matriz FODA asociada a la gestión de basuras marinas en los manglares de la ciudad de Cartagena de Indias, elaborada en base a la revisión bibliográfica realizada.

Debilidades	Fortalezas
<ul style="list-style-type: none"> • La gestión de residuos sólidos en la ciudad es muy deficiente, tanto en su planificación como en la continuidad de prestación de servicio. • Hay un vacío de información pública respecto a la problemática de basuras marinas en los manglares de la ciudad, de igual manera los estudios están desactualizados o son nulos. • Hay poca investigación científica y académica respecto al estado actual de la contaminación por basuras marinas en los manglares en la ciudad, así como sus posibles impactos. • Políticas públicas municipales relegadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de normativa para la reducción del uso de plásticos de un solo uso. • Existe normativa que dicta disposiciones respecto a la contaminación marina. • Hay normativa que reconoce a los manglares como ecosistemas estratégicos, que deben ser protegidos y sus bienes y servicios deben ser usados de manera sostenible. • Cartagena cuenta con áreas de manglar que son objeto de protección y conservación. • Normativa que dicta establecer sistema de monitoreo y control de la calidad ambiental en los manglares.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Hay líneas estratégicas de políticas públicas a través de las cuales se puede abordar la problemática. • Existen avances asociados a la gestión de basuras marinas desde el punto de vista del ordenamiento territorial y gestión de ecosistemas gracias al CONPES 3090/2020. • Existen instrumentos para la planificación costera como POMIUC a los cuales pueden ser integrados la gestión de basuras marinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • La basura marina es un tensor importante que puede afectar la estructura y salud ecosistémica del manglar y la salud pública. • Hay una baja cultura ambiental en la ciudad, lo que genera una mala disposición de los residuos sólidos, que muchas veces, son arrojados directamente al manglar. • Se carece de modelos de aprovechamiento, incluso si el servicio de recolección de residuos funcionara de forma eficiente, no hay mecanismos para dar valor económico a muchos residuos.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los estudios presentados permiten evidenciar que la basura marina podría representar un importante tensor antrópico para los manglares de la ciudad, impactando de manera negativa en su estructura ecológica, en la salud del ecosistema y en la prestación de bienes y servicios ambientales, así como una amenaza para la salud pública.

De igual manera se determinó que la gestión de este tipo de contaminación presenta varios desafíos en la ciudad asociados, principalmente, al mal manejo de residuos, baja conciencia y cultura ambiental y a las políticas públicas municipales relegadas en comparación a las iniciativas nacionales.

En base a la revisión bibliográfica realizada y el análisis presentado se considera que el fortalecimiento respecto a la gestión de residuos sólidos en tierra, el control y monitoreo de las fuentes de contaminación y la sensibilización ambiental son estrategias a tener en cuenta para dar soluciones a esta problemática.

Aunque se han identificado debilidades, cabe resaltar las oportunidades asociadas principalmente a la CONPES 3990 (2020), en el cual se plantea la estructuración de una estrategia nacional para la gestión de residuos sólidos en zonas marino-costeras, teniendo en cuenta los lineamientos de la Estrategia Nacional de Economía Circular, el Ordenamiento territorial y la gestión de ecosistemas marinos y sus servicios y bienes ecosistémicos.

La evidencia reciente subraya la complejidad multidimensional de la contaminación por basura marina y sus impactos socioambientales. En [65] documentan densidades comparables a mares cerrados, con cañones submarinos actuando como sumideros, lo que revela la interacción entre dinámica oceánica y fuentes terrestres. En ecosistemas de playa, Rupasinghe et al. [66] reportan que el plástico constituye más del 50 % de los residuos, con consecuencias directas sobre biodiversidad y turismo. La dimensión atmosférica también emerge como crítica: Jung y Chen [67] demuestran que los microplásticos aéreos (3–50 μm) provienen de puntos críticos costeros, ampliando la noción de dispersión de contaminantes. Cerqueira [68] destaca que el 84 % de la basura en una playa rural portuguesa es plástico, evidenciando la influencia de actividades portuarias. En el plano ecológico, Schirò et al. [69] muestran que casi un tercio de las tortugas marinas varadas en Sicilia ingirieron plásticos, con un patrón diferencial según la etapa de vida. Estos hallazgos coinciden con la revisión de Guerrato y Gonçalves [70], quienes insisten en la necesidad de incluir dimensiones socioeconómicas y la perspectiva de actores vulnerables como los pescadores artesanales. En conjunto con la literatura y teniendo en cuenta los diagramas causales junto con el análisis FODA realizado en este artículo, se resalta que la gobernanza debe ser multiescalar, integrando monitoreo científico, regulación adaptativa y educación ambiental para mitigar los impactos en ecosistemas y comunidades.

Finalmente cabe destacar que, a pesar de que el conocimiento científico permite plantear acciones eficaces, hasta ahora las políticas implementadas resultan insuficientes [63]. Por ende, se requieren más estudios e investigaciones científicas, tanto, cualitativas y cuantitativas en los manglares de la ciudad respecto a esta problemática y que estén enfocados en la realidad social de los actores involucrado con el fin de generar soluciones integrales y toma de decisiones en base a soportes técnicos.

Referencias Bibliográficas

- [1] I. C. Feller, C. E. Lovelock, U. Berger, K. L. McKee, S. B. Joye, y M. C. Ball, “Biocomplexity in mangrove ecosystems,” *Annual Review of Marine Science*, vol. 2, no. 1, pp. 395–417, 2010, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163809>
- [2] Y. Y. Suyadi y C. Y. Manullang, “Distribution of plastic debris pollution and its implications on mangrove vegetation,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 160, p. 111642, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111642>
- [3] S. Y. Chee, J. Yee, C. Danielle, Y. Yusup, y J. B. Gallagher, “Anthropogenic marine debris accumulation in mangroves on Penang Island, Malaysia,” *Journal of Sustainability Science and Management*, vol. 15, pp. 36–60, 2020, doi: <https://doi.org/10.46754/jssm.2020.08.004>
- [4] O. Garcés-Ordoñez y M. R. Bayona-Arenas, “Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano,” *Rev. Ciencias Marinas y Costeras*, vol. 11, no. 2, pp. 134–154, 2019, doi: <https://doi.org/10.15359/revmar.11-2.8>
- [5] L. M. Mejía Quiñones, M. P. Molina Jiménez, A. Sanjuán Muñoz, M. Grijalba Bendeck, y L. M. Niño Martínez, *Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar*. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano – Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, 2014.
- [6] Est. Público Ambiental (EPA) y Univ. de Cartagena (UdeC), “Ecobloque inspecciona zonas degradadas en bordes de Ciénaga de la Virgen,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://epacartagena.gov.co/web/ecobloque-inspecciona-zonas-degradadas-en-bordes-de-cienaga-de-la-virgen/>. [Accedido: 19-may-2025].
- [7] M. L. De la Rosa-Rodríguez, C. Julio-Giraldo, M. Rodríguez-Gómez, y A. García-De la Espriella, “Valoración económica de los manglares urbanos de la ciudad de Cartagena de Indias: una aplicación a la gestión ambiental,” Tesis de Maestría, Pontificia Univ. Javeriana & Univ. Tecnológica de Bolívar, 2008.
- [8] A. Peña-Rodríguez, “Tala del manglar en Cartagena de Indias, factor de riesgo ambiental, frente a la cultura social,” *Documentos de Trabajo Areandina*, no. 2, Fundación Univ. del Área Andina, 2019, doi: <https://doi.org/10.33132/26654644.170>
- [9] Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, *Diagnóstico para formular líneas bases del Plan de desarrollo 2020/2023*, Cartagena, Colombia: Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2020.
- [10] EPA, “Población.” [En línea]. Disponible: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/generalidades-de-cartagena/aspectos-sociales/poblacion/>. [Accedido: 19-may-2025].
- [11] Secretaría de Turismo de Cartagena de Indias, *Plan sectorial de Turismo de Cartagena de Indias 2024–2027*, Cartagena, Colombia: Secretaría de Turismo de Cartagena de Indias, 2024.

- [12] Alcaldía de Cartagena de Indias et al., Plan 4C: Cartagena de Indias Competitiva y Compatible con el Clima, Publ. Generales INVEMAR, no. 63, 2014.
- [13] A. J. Cortes Aguilar, Revisión de la problemática por contaminación por basuras marinas en los manglares urbanos de Cartagena de Indias, Bolívar, Monografía, Univ. Antioquia, 2024.
- [14] A. P. Zamora-Bornachera, D. Vivas Avendaño, y P. C. Sierra-Correa, “Basuras marinas: opciones de política y recomendaciones para abordar la problemática en Colombia,” PNUMA-INVEMAR, vol. 117, pp. 10–13, 2021.
- [15] Y. Y. Luo, C. Not, y S. Cannicci, “Mangroves as unique but understudied traps for anthropogenic marine debris: A review of present information and the way forward,” *Environmental Pollution*, vol. 271, p. 116291, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116291>
- [16] United Nations Environment Programme (UNEP), Intergovernmental conference to adopt global program of action for the protection of the marine environment from land-based activities, Nairobi, Kenya: UNEP, 1995.
- [17] A. Vélez-Mendoza, “Marine litter in mangroves: composition, magnitude, and impacts,” *Boletín de Ciencias de la Tierra*, no. 51, pp. 50–60, 2022.
- [18] V. M. Toledo, “El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica,” *Relaciones*, vol. 34, no. 136, pp. 41–71, 2013.
- [19] F. Galgani, G. Hanke, y T. Maes, “Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter,” en *Marine Anthropogenic Litter*, M. Bergmann, L. Gutow, y M. Klages, Eds., Cham: Springer, 2015, pp. 29–56, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_2
- [20] E. Rojo-Nieto y T. Montoto-Martínez, *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*, Madrid, España: Ecologistas en acción, 2017.
- [21] P. Agamuthu, S. B. Mehran, A. Norkhairah, y A. Norkhairiyah, “Marine debris: A review of impacts and global initiatives,” *Waste Management & Research*, vol. 37, no. 10, pp. 987–1001, 2019, doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X19873618>
- [22] L. F. De Almeida Duarte et al., “Are mangroves hotspots of marine litter for surrounding beaches? Hydrodynamic modeling and qualitative analyses of waste in southeastern Brazil,” *Regional Studies in Marine Science*, vol. 67, p. 103177, 2023.
- [23] L. D. Vorsatz, M. W. K. So, C. Not, y S. Cannicci, “Anthropogenic debris pollution in peri-urban mangroves of South China: Spatial, seasonal, and environmental drivers in Hong Kong,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 195, p. 115495, 2023.
- [24] I. Acosta-Coley et al., “Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: Pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 146, pp. 574–583, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.084>
- [25] O. Garcés-Ordóñez, L. F. E. Díaz, R. P. Cardoso, y M. C. Muniz, “The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches,

- Colombian Caribbean,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 160, p. 111558, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>
- [26] I. Acosta-Coley et al., “Trace elements in microplastics in Cartagena: A hotspot for plastic pollution at the Caribbean,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 139, pp. 402–411, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.16>
- [27] L. F. Sánchez-Rubio, *Modelo de valorización sistémica desde la evolución integral del manglar urbanizado del Caño Juan Angola, Cartagena de Indias*, Tesis de Doctorado, Univ. Nacional de Colombia, 2019.
- [28] El Universal, “Enormes basureros satélites se apoderan de los andenes en la Avenida del Lago,” *El Universal*, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.eluniversal.com.co/>. [Accedido: 19-may-2025].
- [29] El Universal, “Alerta en Cartagena: la Ciénaga de La Virgen no aguanta más basuras,” *El Universal*, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.eluniversal.com.co/>. [Accedido: 19-may-2025].
- [30] CARDIQUE, *Diagnóstico, zonificación y planificación estratégica de las áreas de manglar de Bolívar, Cartagena, Colombia*: CARDIQUE, 1998.
- [31] R. Agudelo y C. P. Peláez, “Estructura de los bosques de manglar del departamento de Bolívar y su relación con algunos parámetros abióticos,” Tesis de Grado, Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia, 2000.
- [32] EPA, *Proyecto Parque Distrital Ciénaga de la Virgen, Cartagena, Colombia*: EPA, 2015.
- [33] Y. Y. Luo, L. D. Vorsatz, C. Not, y S. Cannicci, “Landward zones of mangroves are sinks for both land and water borne anthropogenic debris,” *Science of The Total Environment*, vol. 818, p. 151809, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151809>
- [34] H. J. Bolívar-Anillo et al., “Litter content of Colombian beaches and mangrove forests: results from the Caribbean and Pacific coasts,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 2, p. 250, 2023.
- [35] J. M. Veiga et al., “Identifying sources of marine litter,” JRC Technical Report EUR 28309, 2016, doi: <https://doi.org/10.2788/018068>
- [36] UNEP & GRID-Arendal, *Marine litter: Vital graphics*, Nairobi, Kenya: UNEP, 2016.
- [37] G. Scotti et al., “Seafloor litter along the Italian coastal zone: an integrated approach to identify sources of marine litter,” *Waste Management*, vol. 124, pp. 203–212, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.034>
- [38] Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, *Actualización Plan de Gestión de Residuos Sólidos del Distrito de Cartagena de Indias 2014–2027*, Cartagena, Colombia: Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2016.
- [39] D. C. Martines-Franco y M. C. Peñas-Arana, “Asentamientos informales en manglares, propuestas para una transición socioecológica hacia la sostenibilidad,” Tesis de Maestría, Univ. EAFIT, Medellín, Colombia, 2019.

- [40] CARDIQUE, Plan de Manejo Ciénaga de las Quintas Cartagena de Indias D. T. y C., Cartagena, Colombia: CARDIQUE, 2019.
- [41] Procuraduría General de la Nación, “El poder de la ciudadanía: cambiando vidas, garantizando derechos, relatos de la procuraduría ciudadana,” Instituto de Estudios del Ministerio Público, 2019.
- [42] INVEMAR, “Informe final sobre la caracterización biofísica y socio-económica de las condiciones ambientales de la Ciénaga Las-Quintas, Cartagena, Bolívar, Concepto técnico CPTCAM-007,” Santa Marta, Colombia: INVEMAR, 2016.
- [43] INVEMAR, “Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos,” en L. F. Espinosa, P. Obando y O. Garcés, Eds., Red de vigilancia REDCAM, Informe técnico 2019, Serie de Publ. Periódicas No. 4, Santa Marta, Colombia: INVEMAR, 2020.
- [44] G. Shylaja, V. Kripa, y R. Ranjith, “Assessment of non-degradable litter and its impact on the benthic community of selected mangrove ecosystems of Kerala, India,” *Journal of the Marine Biological Association of India*, vol. 63, no. 1, pp. 128–139, 2021. <https://doi.org/10.6024/jmbai.2021.63.1.2249-19>
- [45] H. P. S. Jayapala et al., “Ecological ramifications of marine debris in mangrove ecosystems: Estimation of substrate coverage and physical effects of marine debris on mangrove ecosystem in Negombo Lagoon, Sri Lanka,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 201, p. 116184, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116184>
- [46] J. M. Riascos, N. Valencia, E. J. Peña, y J. R. Cantera, “Inhabiting the technosphere: The encroachment of anthropogenic marine litter in Neotropical mangrove forests and its use as habitat by macrobenthic biota,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 142, pp. 559–568, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.010>
- [47] C. M. Rochman et al., “The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived,” *Ecology*, vol. 97, no. 2, pp. 302–312, 2016, doi: <https://doi.org/10.1890/14-2070.1>
- [48] M. E. Miller, M. Hamann, y F. J. Kroon, “Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data,” *PLOS ONE*, vol. 15, no. 10, e0240792, 2020, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240792>
- [49] UNEP, Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, Chemicals in plastics: a technical report, Nairobi, Kenya: UNEP, 2023.
- [50] K. Gunaalan, E. Fabbri, y M. Capolupo, “The hidden threat of plastic leachates: A critical review on their impacts on aquatic organisms,” *Water Research*, vol. 184, p. 116170, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116170>
- [51] C. Sanz-Lázaro, N. Casado-Coy, y A. Beltrán-Sanahuja, “Biodegradable plastics can alter carbon and nitrogen cycles to a greater extent than conventional plastics in marine sediment,” *Science of The Total Environment*, vol. 756, p. 143978, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143978>

- [52] Z. Dai et al., "Microplastics strengthen nitrogen retention by intensifying nitrogen limitation in mangrove ecosystem sediments," *Environment International*, vol. 185, p. 108546, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108546>
- [53] P.-O. Maquart, Y. Froehlich, y S. Boyer, "Plastic pollution and infectious diseases," *The Lancet Planetary Health*, vol. 6, no. 10, pp. e842–e845, 2022, doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00198-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00198-X)
- [54] CARDIQUE, Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Arroyos Directos al Caribe Sur–Ciénaga de la Virgen (Código 1206-01), Cartagena, Colombia: CARDIQUE, 2014.
- [55] Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, Decreto 0977 de 2001, por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, Decreto 0977, 2001.
- [56] É. Faciolince-Gómez y E. L. Mejía-Mercado, "Alteración del ecosistema en la Ciénaga de las Quintas en Cartagena-Colombia," *Saberes*, vol. 13, no. 2, pp. 75–80, 2020. <https://doi.org/10.25213/1794-4384/1302.0010>
- [57] C. C. Montealegre y G. M. Dáger, "Sedimentación en la bahía de Cartagena, un impacto socioeconómico," *Dictamen Libre*, no. 16, pp. 11–20, 2015.
- [58] Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, "Sigue la recuperación de zonas invadidas en la Ciénaga de la Virgen," Comunicado 738, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.cartagena.gov.co/>. [Accedido: 19-may-2025].
- [59] Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, "Continúa recuperación de zonas invadidas en la Ciénaga de la Virgen," Comunicado 916, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.cartagena.gov.co/>. [Accedido: 19-may-2025].
- [60] C. Martin, H. Almahasheer, y C. M. Duarte, "Mangrove forests as traps for marine litter," *Environmental Pollution*, vol. 247, pp. 499–508, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.067>
- [61] R. Álvarez-León y J. Polanía, "Los manglares del Caribe colombiano: síntesis de su conocimiento," *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 20, no. 78, pp. 447–464, 1996. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.20\(78\).1996.3052](https://doi.org/10.18257/raccefyn.20(78).1996.3052)
- [62] Galgani, F., Hanke, G., Werner, S. D. V. L., & De Vrees, L. (2013). Marine litter within the European marine strategy framework directive. *ICES Journal of marine Science*, 70(6), 1055-1064.
- [63] LÖHR, Ansje, et al. Solutions for global marine litter pollution. *Current opinion in environmental sustainability*, 2017, vol. 28, p. 90-99. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.08.009>.
- [64] D. Nguyen, M. K. Nguyen, M.-T. Pham, N. T. A. Nguyen et al., "Investigating macro marine litter and beach cleanliness along Southern Vietnam beaches," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 212, Article 117566, 2025. doi: 10.1016/j.marpolbul.2025.117566.
- [65] C. Alfaro-Ortega, J. Ibarretxe, and M. Iturrondobeitia, "Marine litter in the south-east of the Bay of Biscay: A review of current methods,

standards, databases and challenges,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 213, Apr. 2025, Art. no. 117632, doi: 10.1016/j.marpolbul.2025.117632.

[66] H. P. A. Rupasinghe, I. J. U. N. Perera, R. D. C. Sandaruwan, H. P. S. Jayapala, B. K. A. Bellanthudawa, and A. Tennakoon, “Coastal beach ecosystems contaminated by marine litter: Impact on coastal biodiversity, tourism, and environmental sustainability,” *Environmental Pollution*, vol. 372, May 2025, Art. no. 126006, doi: 10.1016/j.envpol.2025.126006.

[67] C.-C. Jung and K.-Y. Chen, “Assessing the impact of marine litter hotspot on atmospheric microplastics: A study of a coastal village,” *Environmental Pollution*, vol. 368, Mar. 2025, Art. no. 125699, doi: 10.1016/j.envpol.2025.125699.

[68] M. Cerqueira, “Exploring marine litter abundance and composition on a rural sandy beach in Portugal,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 11, Jun. 2025, Art. no. 101071, doi: 10.1016/j.cscee.2024.101071.

[69] G. Schirò et al., “Analysis of marine litter ingested by sea turtles stranded in Sicily: a 7-year report,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 220, Nov. 2025, Art. no. 118427, doi: 10.1016/j.marpolbul.2025.118427.

[70] N. R. Guerrato and L. R. Gonçalves, “Netting the problem: a comprehensive analysis of marine litter on artisanal fishers,” *Frontiers in Ocean Sustainability*, vol. 2, Jan. 2025, doi: 10.3389/focsu.2024.1474477.