

# Boletín Científico CIOH

Cartagena de Indias, D.T. y C., Colombia



**Ministerio de Defensa Nacional-Dirección General Marítima**  
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe-CIOH  
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-CCCP  
**Vol. 42 Núm. 2. Páginas 3 a 70. Diciembre 2023**

Ministerio de Defensa Nacional



Dirección General Marítima  
Autoridad Marítima Colombiana

Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas del Caribe

Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas del Pacífico

# **Boletín Científico CIOH**

No. 42 Núm. 2  
Diciembre de 2023

**Ministerio de Defensa Nacional  
Dirección General Marítima  
Centro de Investigaciones Oceanográficas e  
Hidrográficas del Caribe (CIOH)  
Centro de Investigaciones Oceanográficas e  
Hidrográficas del Pacífico (CCCP)**

## **BOLETÍN CIENTÍFICO CIOH**

Dirección General Marítima (Dimar)

Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas del Caribe (CIOH)

Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas del Pacífico (CCCP)

No. 42 (2), páginas 3-70, diciembre de 2023

### **DIRECTOR GENERAL MARÍTIMO**

Vicealmirante John Fabio Giraldo Gallo

### **DIRECTOR BOLETÍN CIENTÍFICO CIOH**

Capitán de Navío José Andrés Díaz Ruiz

Director CIOH

### **EDITORA JEFE**

Martha Lucero Bastidas Salamanca, M.Sc.  
Centro de Investigaciones Oceanográficas e  
Hidrográficas del Caribe (CIOH)

### **COORDINADORA EDITORIAL**

Angélica María Castrillón-Gálvez  
Máster en Edición de Publicaciones Dimar

### **COMITÉ EDITORIAL-MIEMBROS EXTERNOS**

Roberto Enrique Lastra Mier, Ph.D.  
Grupo de investigación en Derecho y Territorio. Grupo  
de investigación INVIUS

Facultad de Ciencias Jurídicas. Universidad del Atlántico

Luis Jesús Otero Díaz, Ph.D.

Grupo de investigación en Geociencias GEO4

Universidad del Norte

Yanis Cruz Quintana, Ph. D.

Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad  
y Salud Ambiental

Universidad Técnica de Manabí (Ecuador)

Bismarck Jigena Antelo, Ph.D.

Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación  
y Construcciones Navales.

Universidad de Cádiz (España)

Juan Gabriel Rueda Bayona, Ph.D.

Grupo de investigación HIDROMAR-IREHISA

Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle

Francisco Javier Briceño Zuluaga, Ph.D.

Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas

Universidad Militar Nueva Granada

Mónica María Zambrano Ortiz, Ph.D.

Corporación Académica Ambiental

Universidad de Antioquia

José Manuel Gutiérrez Salcedo, Ph.D.

Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos  
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras

Mary Luz Cañón Páez, Ph.D.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)

Andrea Corredor-Acosta, Ph.D.

Centro de Investigación Dinámica de Ecosistemas  
Marinos de Altas Latitudes (IDEAL).

Universidad Austral de Chile

Eduardo Santamaría del Ángel, Ph.D.

Facultad de Ciencias Marinas.

Universidad Autónoma de Baja California (México)

### **COMITÉ EDITORIAL-MIEMBROS INTERNOS**

Capitán de Navío José Andrés Díaz Ruiz

Director CIOH

### **CUBIERTA**

Análisis de muestra en laboratorio.

### **COMITÉ CIENTÍFICO**

Prof. (emérito) Erik Desmond Barton, Oceanografía,  
Instituto Oceanográfico Vigo, España,

Prof. (emérito) Georges Vernet, Geología Marina,  
Universidad de Bourdeaux

Prof. (emérito) Yves Francois Thomas, Sensores  
Remotos, Universidad de París 1, Sorbone

Prof. Alejandro Orfila, Ph.D., Oceanografía,  
Universidad de Islas Baleares, España

Prof. Juan Camilo Restrepo López, Ph.D.,  
Ciencias del Mar, Universidad del Norte, Barranquilla

Prof. Vladimir Giovanni Toro Valencia, Ph. D.,  
Oceanografía Física, Universidad de Antioquia, Turbo

Prof. Rafael Ricardo Torres Parra, Ph.D., Nivel del Mar,  
Universidad del Norte, Barranquilla

Prof. Julián Augusto Reyna Moreno, M.Sc., Oceanografía,  
Pacific University, Guayaquil, Ecuador

Álvaro Duarte Méndez, M.Sc.,

Manejo de Zonas Costeras, consultor independiente

### **EDITORIAL DIMAR**

### **DISEÑO Y COMPOSICIÓN**

Fenix Media Group S.A.S.



Boletín Científico CIOH por Dimar se encuentra bajo una Licencia  
Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported.  
Basada en una obra en [www.cioh.org.co](http://www.cioh.org.co)

El Boletín Científico CIOH es una revista científica seriada, especializada en las diferentes áreas de investigación de las ciencias del mar (oceanografía, hidrografía, manejo integrado de zonas costeras, protección del medio marino, etc.), dirigida a la comunidad científica y la academia en el ámbito global. Publica semestralmente artículos científicos inéditos y arbitrados, producto de proyectos de investigación adelantados por los centros de investigaciones científicas marinas de la Dirección General Marítima y de otros institutos, e investigadores que realicen contribuciones originales al desarrollo de nuevo conocimiento. Se edita en formato digital bajo el ISSN en línea 2215-9045, en idioma español e inglés. Su distribución se hace desde la plataforma Open Journal System (OJS) (<http://ojs.dimar.mil.co>) y el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) (<https://cecoldo.dimar.mil.co/web/>). Este producto intelectual cuenta con una política de acceso abierto (Open Access, OA) para su consulta, sus condiciones de uso y distribución están definidas por el licenciamiento Creative Commons

## EDITORIAL

**Oceanopolítica y gobernanza de los océanos: entre la complejidad y la necesidad***Ocean politics and governance: between complexity and necessity*

DOI: 10.26640/22159045.2023.623

Jaime Orlando López de Mesa C.<sup>1</sup>**CITAR COMO:**

**López de Mesa C., J. O. (2023).** Oceanopolítica y gobernanza de los océanos: entre la complejidad y la necesidad. *Bol. Cient. CIOH*, 42(2): 3-6. ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.623>

Aproximadamente, desde los años 70 del siglo XX se inició una nueva fase de la globalización, que se acentuó luego de la caída del bloque socialista y del muro de Berlín, incrementando aceleradamente los procesos de intercambio en los ámbitos económico, político y cultural. Esto produjo una creciente interdependencia entre los países, fenómeno que se alimentaba de diversas fuentes; entre ellas, los cambios tecnológicos impulsados por la tercera revolución industrial, a partir de los años 50 y por la cuarta, cuyo inicio es señalado por los historiadores de la ciencia con el surgimiento de internet. Parece que se asiste a un momento de repliegue de dicha fase o de reflujos de la globalización, luego de un largo periodo de flujo o creciente de dicho fenómeno (Fazio, 2002).

Durante esta fase predominó la diplomacia económica, a pesar de los ires y venires, de invasiones aquí y guerras acullá, momento en el cual la geopolítica parecía mermar su relevancia en comparación con el impulso de la globalización económica, de los tratados económicos por doquier y el uso de instrumentos económicos para alcanzar objetivos estratégicos; es decir, la geoconomía y la profundización del proceso de financiarización, caracterizado por el dominio de los intereses del sector financiero y la imposición de su lógica a otros sectores productivos.

Pero, el surgimiento de fenómenos de impacto global, como la propuesta de China de la Nueva Ruta de la Seda, la emergencia o resurgimiento

de focos de conflictos bélicos en Ucrania, Siria o Yemen han marcado la revivificación de la geopolítica como un fenómeno central en las relaciones internacionales contemporáneas, mostrando el papel central que desempeñan los océanos y los mares en los escenarios del siglo XXI, tanto como medios pacíficos para el transporte de personas y mercancías (Orempüller do Nascimento, 2019), al igual que para el tránsito de tropas y pertrechos para la guerra, así como fuente de recursos estratégicos, verbigracia, el petróleo.

Son entonces un medio y un potencial escenario de operaciones de combate y de la lucha por el control de rutas marítimas. De esta forma, los océanos son un recurso fundamental y un objetivo estratégico. Estas transformaciones sugieren una transición de un momento predominantemente geoeconómico a otro eminentemente geopolítico.

No obstante, los adelantos alcanzados en la fase de auge de la globalización, como ocurrió en el pasado, nunca se pierden del todo y siempre quedan avances que sobreviven a los momentos de retroceso; entre ellos, las experiencias acumuladas en el manejo del comercio internacional, la progresiva consolidación del derecho internacional en sus diversas manifestaciones, entre ellas el Derecho Internacional del Mar o las estrategias de gobierno consensuado y participativo, desde los más altos niveles internacionales hasta los espacios de la localidad y los territorios, esto

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8808-6264. Profesor y editor de la revista de la Facultad de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad. Universidad Militar "Nueva Granada", Carrera 11 N°. 101-80 (Bogotá, Colombia). Correo electrónico: [jaime.lopezde@unimilitar.edu.co](mailto:jaime.lopezde@unimilitar.edu.co)

es la gobernanza multinivel. En otras palabras, sobreviven aprendizajes para el diálogo.

Entre estos logros hay dos que pueden constituir un punto de apalancamiento para el desarrollo de los pueblos y la consecución de una paz duradera y segura a nivel global, alcances estos que han ido madurando en las últimas décadas y que, por sus características, reúnen aspectos de geopolítica, de geoeconomía y de diplomacia, constituyen una oportunidad ejemplar para coadyuvar a superar el difícil panorama de la geopolítica global contemporánea.

Se trata de la oceanopolítica, que, al igual que la gobernanza de los océanos, aquella como fuente de conocimientos y esta como fundamento de acuerdos, instituyen una oportunidad para el diálogo y la paz. La oceanopolítica tiene como base la concepción del océano como un sistema complejo, en el que interactúan múltiples actores con intereses heterogéneos e intervienen una pluralidad de factores en variados niveles (Martínez, 1996). Con base en esta perspectiva, la oceanopolítica es:

“El concepto que considera la existencia del océano en el entorno geográfico y la influencia que esta tiene sobre las decisiones políticas. Su propósito fundamental es lograr que la gestión política considere al océano como el espacio natural para el desarrollo y crecimiento futuro del Estado” (Martínez, 1993).

En este orden de ideas, la oceanopolítica emerge como una ciencia cuyo objetivo es integrar los espacios marítimos a los procesos de desarrollo mediante la «territorialización» de los mares (Dávalos, 2018). Por su complejidad y la dinámica geopolítica y geoeconómica mundial, la oceanopolítica enfrenta retos que se pueden sintetizar en cinco áreas (Unesco, 2021), a saber:

El cambio climático y su fuerte impacto en los mares y los océanos, traducido en el derretimiento de los polos, el aumento del nivel del mar, la acidificación de los océanos y la pérdida de biodiversidad marina. Como resultado están en riesgo ecosistemas marinos vitales para las actividades humanas.

Otro reto estriba en la creciente contaminación marina que ya afecta a numerosas especies, llegando a tal nivel que han surgido islas de

desechos que flotan a lo largo de los océanos, conformados por residuos plásticos y productos químicos a los que se suman el vertimiento de aguas residuales, configurando un panorama crítico que empieza a tener efectos sobre la capacidad de sostenibilidad de pueblos isleños.

La competencia por los recursos marinos constituye otro componente central de esta problemática que enfrenta la oceanopolítica, puesto que los océanos son fuente fundamental, desde tiempos inmemoriales, de recursos tanto alimenticios y energéticos que se nutren de la biodiversidad que está amenazada. El crecimiento demográfico, la creciente escasez de estos recursos y los imperativos estratégicos de varias potencias, están exacerbando la competencia por los recursos marítimos, generando tensiones y conflictos.

De otra parte, la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (Indnr) caracteriza uno de los elementos más apremiantes, pues se estima que representa al menos el 30 % de la pesca mundial, poniendo en riesgo especies fundamentales para los equilibrios ecosistémicos del mar (Unesco, 2021).

Finalmente, la piratería y el terrorismo constituyen una creciente amenaza para la seguridad marítima, generando aún mayores tensiones y riesgos para la conservación marítima y la gobernanza oceánica.

El abordaje de esta problemática exige formas de gobierno que permitan reconocer los derechos de todas las partes, en un marco de diálogo constructivo y en igualdad de condiciones para todos los actores, en el contexto de la enorme complejidad desde la perspectiva social, política, cultural, ecológica y medioambiental constitutiva de los océanos. Para tal efecto, se ha desarrollado la gobernanza de los océanos como la herramienta fundamental que permite la búsqueda de soluciones a los acuciantes problemas que enfrenta la oceanopolítica.

La gobernanza de los océanos tiene presente que estos son la base para la sobrevivencia de la humanidad y, por tanto, su prosperidad conforma un componente central para el desarrollo futuro y la conservación del planeta. Se ha ido construyendo progresivamente, de esta forma, una perspectiva integral de la gobernanza de los

océanos que incluye normas, leyes, instituciones, políticas, estrategias y los intereses económicos que intervienen en estas; así como asuntos de seguridad dirigidos al manejo de los recursos del océano, incluyendo instituciones formales e informales con procesos de discusión, diseño y búsqueda de soluciones en forma consensuada cada vez más horizontales (Singh y Ort, 2020). Se trata de un macroproceso que está lejos de ser perfecto, pero que constituye un avance importante (Blythe, Armitage, Bennett, Silver y Song, 2021).

Diversos estudios han señalado los desafíos que enfrenta la gobernanza de los océanos. Quizás el de mayor importancia ha sido desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) en el año 2021, en el que identifica cuatro grandes retos para la gobernanza de los océanos con once componentes en total.

Rápidamente, esas impugnaciones comprenden la fragmentación de la gobernanza derivada de la segmentación política y por sectores, de las partes interesadas, del conocimiento y de la fractura territorial e institucional. Los problemas de capacidad y conciencia constituyen otro de los obstáculos de la gobernanza de los océanos, representada en la falta de conciencia de la problemática concerniente a los mares y de la falta de capacidad para desarrollar políticas a nivel global debido a diversos obstáculos. Las cuestiones de escala también integran otro elemento que confronta la gobernanza de los océanos, particularmente en las dimensiones espaciales, temporales y de representación. Y, finalmente, la incertidumbre y el cambio, a través de asuntos emergentes y de problemas complejos, completan el panorama que identificó la Unesco como los mayores retos para la gobernanza de los océanos (Unesco, 2021).

En todo caso, los avances en la gobernanza de los océanos se erigen como un pequeño oasis en la creciente belicosidad a nivel mundial, allanando el camino para el desarrollo de la oceanopolítica que, en un proceso de retroalimentación mutua, permite generar canales para el diálogo. Su preservación, conservación y maduración deberían ser un elemento central de los estados, la política internacional y de los organismos intergubernamentales.

Así pues, la oceanopolítica es una disciplina que enfrenta la complejidad de los mares y, que, de la mano de la gobernanza de los océanos constituye un campo para el estudio de los problemas que afrontan las masas de agua que rodean el planeta, la búsqueda de soluciones y la puesta en marcha de políticas que mitiguen sus acuciantes problemas.

De hecho, hay un consenso generalizado sobre la relación directa entre los principales riesgos que enfrentan los océanos directamente relacionados con la gobernanza, tales como:

“(1) los impactos de la sobreexplotación de los recursos marinos; (2) la distribución desigual del acceso a los servicios de los ecosistemas marinos y los beneficios derivados de ellos, y (3) la adaptación inadecuada o inapropiada a las condiciones cambiantes de los océanos” (Haas et al., 2022).

Colombia, con su enorme riqueza acuífera, el privilegio de poseer costas sobre dos océanos y el haber avanzado en las últimas décadas con el esfuerzo de la Armada de Colombia, constituye un país, que, como pocos, posee un enorme potencial para emerger como una potencia regional en lo concerniente a la oceanopolítica y con la suficiente autoridad para proponer esquemas de gobernanza de los océanos en el ámbito global. Si bien se ha iniciado la tarea, queda mucho camino por recorrer.

Dadas sus complejas características, profundizar en el conocimiento de la oceanopolítica y su gobernanza es una necesidad para el desarrollo del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blythe, J.; Armitage, D.; Bennett, N.; Silver, J.; Song, A. (2021). The Politics of Ocean Governance Transformations. *Frontiers in Marine Science*, 8: 634718. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.634718>
- Dávalos, J. (2018). *Oceanopolítica. El mar como imperativo de desarrollo y seguridad*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Fazio, H. (2002). *La globalización en su historia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 208 pp.

- Haas, B.; Mackay, M.; Novaglio, C.; Fullbrook, L.; Murunga, M.; Sbrocchi, C.; McDonald, J.; McCormack, C.; Alexander, K.; Fudge, M.; Goldsworthy, L.; Boschetti, F.; Dutton, I.; Dutra, L.; McGee, J.; Rousseau, Y.; Spain, E.; Stephenson, R.; Vince, J.; Wilcox, C.; Haward, M. (2022). The future of ocean governance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32: 253–270 <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09631-x> PMID:33456210 PMCID:PMC7802408
- Martínez, J. (1993). *Oceanopolítica: una alternativa para el desarrollo*. Santiago de Chile, Convenio Andrés Bello. 270 pp.
- Martínez, J. (1996). El mar como sistema. *Revista de Marina de Chile*, 4: 329-339.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). *MSPglobal Policy Brief: Ocean Governance and Marine Spatial Planning*. Paris, Unesco. (IOC Policy Brief No 5).
- Orempüller do Nascimento, H. (2019). La diplomacia de defensa y la proyección de la oceanopolítica. *Revista Estrategia Marítima*, 3(9): 123-148. <https://doi.org/10.25062/2500-4735.366>
- Singh, P.; Ort, M., (2020). Law and Policy Dimensions of Ocean Governance. En: Jungblut, S.; Liebich, V. and Bode-Dalby, M. (Editors) *YOUMARES 9. The Oceans Our Research, Our Future*. Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4_3)

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

## Identificación coparticipativa de los impactos derivados del cambio climático sobre los patrimonios culturales marítimos en la isla de Tierra Bomba, Cartagena de Indias, Colombia

### *Co-participatory identification of the impacts of climate change on the maritime cultural heritage of Tierra Bomba Island, Cartagena de Indias, Colombia*

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.616> Fecha de recepción: 2023-06-07 / Fecha de aceptación: 2023-08-11

Carlos del Cairo Hurtado<sup>1</sup>, Gabriela Caro León<sup>2</sup>, Gina Lorena Hernández Zárate<sup>3</sup>, Liliana Patricia Rozo Pinzón<sup>4</sup>, Saúl Esteban Vallejo Quintero<sup>5</sup>, Jesús Alberto Aldana Mendoza<sup>6</sup>, Johann Cuta Jiménez<sup>7</sup>, Laura Victoria Báez Santos<sup>8</sup>

#### CITAR COMO:

Del Cairo Hurtado, C.; Caro León, G.; Hernández Zárate, G.; Rozo Pinzón, L.; Vallejo Quintero, S.; Aldana Mendoza, J.; Cuta Jiménez, J.; Báez Santos, L. (2023). Identificación coparticipativa de los impactos derivados del cambio climático sobre los patrimonios culturales marítimos en la isla de Tierra Bomba, Cartagena de Indias, Colombia. *Bol. Cient. CIOH*, 42(2), 7-25. ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.616>

#### RESUMEN

El cambio climático representa en la actualidad uno de los mayores riesgos para el desarrollo de la biodiversidad y la sostenibilidad social y cultural de los seres humanos en todo el planeta. En este trabajo se presentan algunos de los resultados de la fase piloto de una investigación en la cual se desarrolló un espacio diseñado para actores comunitarios interesados en generar una propuesta para la identificación de los efectos que produce el cambio climático en los patrimonios culturales marítimos de la isla de Tierra Bomba, en Cartagena de Indias (Colombia). Dicho proyecto, denominado Colaboratorio Azul, es un laboratorio coparticipativo interesado en articular los diferentes saberes comunitarios, institucionales y académicos sobre el cambio climático y su impacto en el patrimonio natural-cultural del paisaje marítimo y costero de la ciudad, y algunos de sus centros poblados.

**PALABRAS CLAVES:** cambio climático, patrimonio cultural, coproducción del conocimiento, Tierra Bomba, Cartagena de Indias, Colombia

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0001-5968-9832. Investigador Fundación Colombia Anfibia. Colombia. Correo electrónico: [carlosdelcairo@gmail.com](mailto:carlosdelcairo@gmail.com)

<sup>2</sup> Orcid: 0000-0003-4713-018X. Investigadora Fundación Colombia Anfibia. Colombia. Correo electrónico: [gabriela.caroleon@gmail.com](mailto:gabriela.caroleon@gmail.com)

<sup>3</sup> Orcid: 0009-0008-2259-5101. Responsable Patrimonio Cultural Sumergido. Dirección General Marítima. Carrera 54 No. 26-50, edificio Dimar, CAN. Colombia. Correo electrónico: [ghernandez@dimar.mil.co](mailto:ghernandez@dimar.mil.co)

<sup>4</sup> Orcid: 0009-0004-4667-7065. Investigadora Fundación Colombia Anfibia. Colombia. Correo electrónico: [li.rozopinzon@gmail.com](mailto:li.rozopinzon@gmail.com)

<sup>5</sup> Orcid: 0000-0001-6667-9544. Responsable Señalización Marítima. Dirección General Marítima. Carrera 54 No. 26-50, edificio Dimar, CAN. Colombia. Correo electrónico: [svallejo@dimar.mil.co](mailto:svallejo@dimar.mil.co)

<sup>6</sup> Orcid: 0000-0003-4488-2490. Investigador Fundación Colombia Anfibia. Colombia. Correo electrónico: [jesusalbertoaldanamendoza@gmail.com](mailto:jesusalbertoaldanamendoza@gmail.com)

<sup>7</sup> Orcid: 0000-0002-0195-408X. Jefe de la Sección de Innovación y Tecnología Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", isla de Manzanillo, barrio El Bosque. Cartagena, Colombia. Marítima. Colombia. Correo electrónico: [jcuta@dimar.mil.co](mailto:jcuta@dimar.mil.co)

<sup>8</sup> Orcid: 0000-0003-3298-1360. Investigadora Fundación Colombia Anfibia. Colombia. Correo electrónico: [victoriabaezsantos@gmail.com](mailto:victoriabaezsantos@gmail.com)

## ABSTRACT

*Climate change currently represents one of the greatest risks for the development of biodiversity and the social and cultural sustainability of human beings throughout the planet. This paper presents the partial results of the pilot phase of research which developed a space designed for community actors interested in generating a proposal for identifying the effects of climate change on the maritime cultural heritage of the island of Tierra Bomba, in Cartagena de Indias (Colombia). This project, called "Colaboratorio Azul", is a co-participatory laboratory interested in articulating the different community, institutional and academic knowledge on Climate Change and its impact on the natural-cultural heritage of the maritime and coastal landscape of the city and some of its population centers.*

**KEYWORDS:** *Climate change, cultural heritage, knowledge co-production, Tierra Bomba, Cartagena de Indias, Colombia.*

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático está generando afectaciones en todos los ámbitos de la sociedad actual. Al ser una amenaza para el bienestar de la humanidad, las ciencias sociales juegan un rol clave para comprender y mitigar esos impactos (Rivera-Collazo, 2021). En relación con el patrimonio cultural, en el ámbito internacional se han publicado algunos informes en los últimos años. En el 2005, el cambio climático, comprendido como una amenaza para los bienes patrimoniales globales, fue puesto en conocimiento por el Comité del Patrimonio Mundial a través del formulario para la inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial, en la cual se incluyen como requerimientos solicitados los cambios y afectaciones producidos por este, tales como inundaciones, terremotos y otras causas naturales (Unesco, 2005). Posteriormente, en el año 2014 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, por sus siglas en inglés) apoyó el desarrollo de una guía práctica sobre la adaptación al cambio climático en cuatro sitios patrimoniales en Kenia e India, estableciendo ejemplos teóricos y prácticos para la planificación de una estrategia de adaptación a la emergencia climática.

Sin embargo, este sigue siendo un tema reciente y poco explorado (Morel *et al.*, 2022). La mayoría de los trabajos han resaltado los riesgos y amenazas (Barba, Díaz y Luna, 2010; Ezcurra y Rivera, 2018; ICOMOS, 2020; Unesco, 2005, 2022; Reeder-Myers, 2015), pero también las posibilidades y potencialidades de los patrimonios culturales marítimos y subacuáticos frente al cambio climático (Guiao, 2020; Unesco, 2021).

Cabe resaltar que con el Acuerdo de París (ONU, 2015), se reconoce la importancia del patrimonio cultural inmaterial en las acciones de adaptación frente al cambio climático.

En este sentido las decisiones deben:

*"[...] basarse e inspirarse en la mejor información científica disponible y, cuando corresponda, en los conocimientos tradicionales, los conocimientos de los pueblos indígenas y los sistemas de conocimientos locales, con miras a integrar la adaptación en las políticas y medidas socioeconómicas y ambientales pertinentes, cuando sea el caso" (ONU, 2015, p. 10).*

Por ende, la participación comunitaria y el patrimonio cultural juegan un papel fundamental en la formulación e implementación de las acciones de adaptación al cambio climático, pues podría aumentar la efectividad, la eficiencia, la sostenibilidad y la inclusión (Guiao, 2020).

Por otro lado, el cambio climático puede generar impactos negativos en el patrimonio cultural marítimo y subacuático, generando daños tanto directos como indirectos en los bienes materiales y las prácticas inmateriales, ya sean vistas desde el contexto físico o social (Unesco, 2015). Particularmente, en una encuesta realizada por el Centro del Patrimonio Mundial, en 2005, se evaluaron los impactos del cambio climático en los sitios declarados como patrimonio de la humanidad. A partir de las respuestas recibidas por 83 países participantes, se identificó que las amenazas climáticas más reiteradas fueron los huracanes y tormentas, el aumento del nivel del mar, la erosión por viento o por agua, las inundaciones, el aumento de la precipitación,

la sequía, la desertificación y el aumento de la temperatura (Unesco, 2007). Así pues, se hace prioritaria la implementación de modelos de investigación y gestión a corto plazo que integren tanto a las comunidades y sus saberes tradiciones como al sector científico, dada la celeridad de las afectaciones y pérdidas del patrimonio cultural (Figueira y Howard, 2019); puesto que además de arrebatarse a una cultura la tierra donde se encuentra su patrimonio físico, el cambio climático puede llegar a transformar irremediablemente sus tradiciones y saberes (Henriksen, 2007).

Para el caso particular de Cartagena de Indias y debido a problemáticas ambientales como la erosión costera, el aumento del nivel del mar y las inundaciones que está sufriendo el patrimonio cultural ubicado en la isla de Tierra Bomba (Del Cairo *et al.*, 2022; Riera y Báez, 2022) y, en general, en la ciudad de Cartagena (Distrito de Cartagena de Indias, 2016; Villarreal, 2019) es necesario establecer mecanismos de protección que integren las múltiples perspectivas comunitarias, institucionales y académicas. De acuerdo con investigaciones adelantadas por autores como Andrade (2008); Andrade, Ferrero y León (2017); Rangel y Montealegre (2003); Pabón (2003a; 2003b); Pabón y Lozano (2005); Torres y Tsimplis (2013) se ha demostrado que la tendencia ascensional del nivel relativo del mar en Cartagena es dos o tres veces mayor que en Cristóbal (Panamá), Magueyes (Puerto Rico) y en Lime Tree (Cayos de la Florida). Mientras que para estas ciudades la tendencia al aumento relativo del nivel del mar varía entre 1.3 mm y 1.9 mm por año, en Cartagena varía entre 4.5 mm y 5.3 mm por año. Lo anterior representa un riesgo para la conservación del patrimonio cultural que se ubica sobre la línea de costa de la ciudad, dado que el aumento acelerado del nivel del mar puede ocasionar desde afectaciones estructurales hasta su desaparición en el tiempo.

De esta manera, el enfoque interinstitucional tiene que estar acompañado con una perspectiva interdisciplinaria que pueda constituir una red de apoyo que acompañe este espacio de colaboración conjunta, donde la coparticipación sea un eje transversal para la generación de conocimiento sobre el cambio climático y su impacto en el patrimonio cultural y así diseñar soluciones y alternativas para su mitigación. Partiendo de lo

anterior, el proyecto 'Colaboratorio Azul: efectos del cambio climático en los bienes de interés cultural de Cartagena de Indias, Colombia' (Del Cairo *et al.*, 2023) nació como un estudio que desde una perspectiva arqueológica, antropológica e histórica propone identificar, investigar y analizar los impactos del cambio climático en el patrimonio cultural. Esto a partir de un enfoque coparticipativo junto a las comunidades de Cartagena de Indias, para proporcionar datos útiles frente escenarios presentes y futuros de medidas de reducción de riesgos, y contribuir a identificar diferentes estrategias de respuesta para la protección del patrimonio cultural ante los impactos del cambio climático.

Dicho enfoque coparticipativo busca constituir redes de intercambio entre los actores públicos y privados con la academia y la comunidad, para la continua generación de mecanismos de protección y toma de decisiones concertadas que hagan viable y sostenible la participación comunitaria en la protección pública del patrimonio (Forero, Hernández y Zafra, 2023). El desconocimiento y la desarticulación de los impactos desde la perspectiva de la comunidad redundan en la probabilidad de producir planes y acciones desadaptativos que pueden resultar en cambios irreversibles o pérdidas mayores (Moshenska, 2014). En este sentido, este artículo presenta resultados parciales del proyecto Colaboratorio Azul en su fase piloto (Del Cairo *et al.*, 2023), en el cual se analizan los impactos del cambio climático a partir de documentación histórica y cartografía, y la articulación de saberes locales a partir de la coparticipación de las comunidades sobre el cambio climático y su impacto en el patrimonio cultural de la isla de Tierra Bomba.

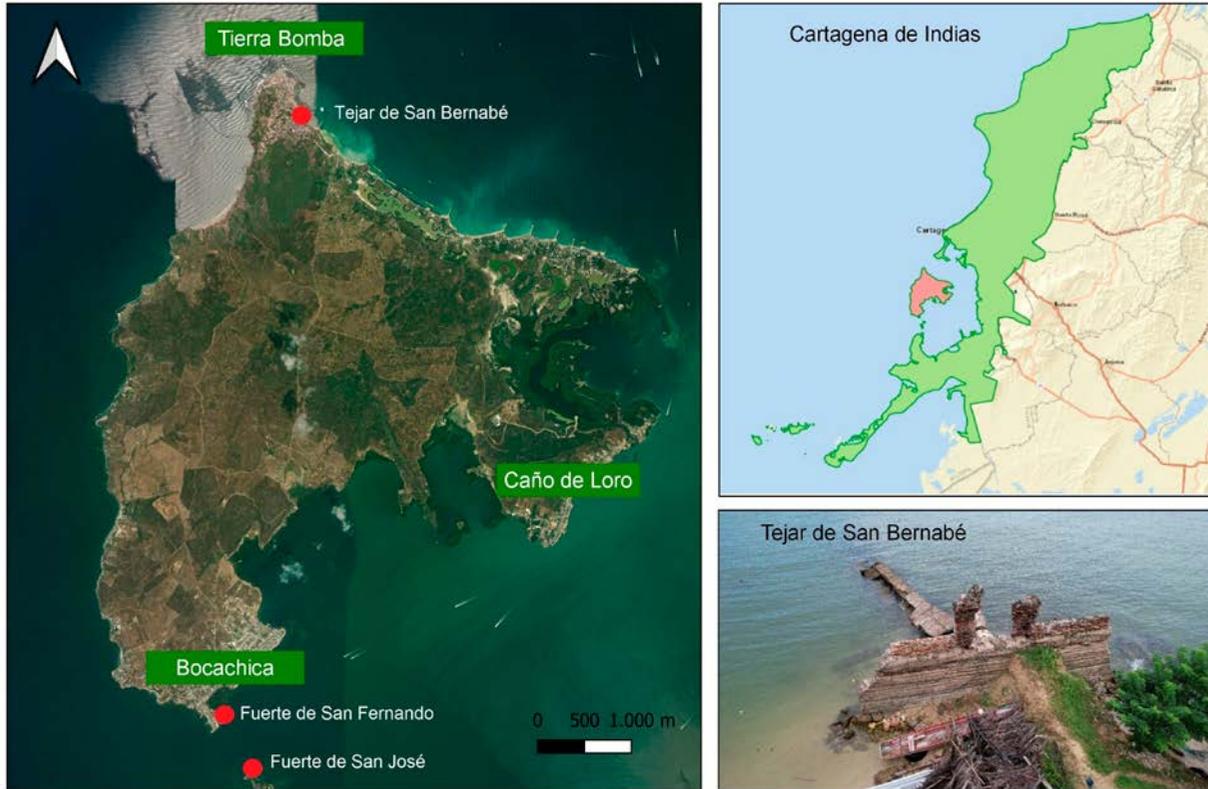
## ÁREA DE ESTUDIO

La isla de Tierra Bomba está ubicada al sur del casco urbano de Cartagena de Indias y al norte de la península de Barú. La isla está dividida en cuatro corregimientos: el homónimo Tierra Bomba, Punta Arenas, Caño de Loro y Bocachica, los cuales cuentan con un amplio potencial cultural, producto de procesos históricos y territoriales relacionados con el mar (Villa, Cáceres y Arrieta, 2019). En términos de patrimonio cultural marítimo (Fig. 1), en esta área convergen múltiples expresiones tangibles del diario vivir de los pobladores del

lugar, los cuales interactúan con el patrimonio inmueble (fortificaciones, pozos, aljibes, entre otros).

Estos elementos contienen en sí una diversidad y riqueza en patrimonios culturales inmateriales y materiales marítimo-costeros (Rubio-Ardanáz,

2014; Rozo-Pinzón, 2020; Del Cairo *et al.*, 2022; 2023). Particularmente se trabajó con las comunidades de Bocachica sobre los fuertes de San José, San Fernando y San Luis; con los pobladores de Tierra Bomba en el Tejar de San Bernabé, y con los habitantes de Caño de Loro en las estructuras que están cerca del Leprocomio.



**Figura 1.** Localización del área de estudio y aspectos del patrimonio cultural (Tejar de San Bernabé). En el mapa se observan los sectores analizados: Tierra Bomba, Bocachica y Caño de Loro.

Pese a la riqueza patrimonial y cultural de la isla, la comunidad de Tierra Bomba se encuentra en una situación de abandono por parte de algunas instituciones a nivel nacional, debido a su poca presencia en el lugar, lo cual se ve reflejado en las condiciones de vida de los habitantes y de acceso a servicios de primera necesidad (Picó *et al.*, 2013). Por ejemplo, de 12 207 habitantes en el año 2019, el 96.7 % de la población vive en condiciones extremas de pobreza: no cuentan con servicio de alcantarillado, acueducto ni telefonía fija, el gas natural fue instalado desde el 2016 y la luz desde el 2003. Adicionalmente, destacan las viviendas que están en condiciones inadecuadas y de hacinamiento (Del Cairo *et al.*, 2023).

Respecto a la vulnerabilidad ambiental, pese a que la isla cuenta con múltiples recursos naturales, temas como el aumento del nivel del mar, las inundaciones, la inadecuada gestión de los recursos sólidos, la erosión costera y el uso de combustibles como la madera son factores que la hacen vulnerable frente al cambio climático (Cáceres y Romero, 2017; González y Torres, 2019), tanto a sus habitantes como al patrimonio cultural material del lugar (Parra y Anaya, 2017). Se suman graves problemáticas de contaminación, drogadicción, pandillas y violencia, que conducen a un escenario de inseguridad y división en la comunidad, lo cual ha llevado a conformar comunidades desunidas e individualistas (Caraballo, 2020).

Dinámicas actuales como la privatización de las zonas costeras de la isla para la construcción de hoteles y sitios turísticos exclusivos han sido un agravante de estas problemáticas sociales dentro de la isla. Aunque estas actividades aportan al desarrollo del turismo, se produce un abandono a las comunidades locales y se crean barreras dentro del territorio que limitan la movilidad de los locales y, por ende, el acceso a los sitios arqueológicos y naturales (Iregui y García, 2016; Rozo-Pinzón, 2020). Es el caso de Bocachica, corregimiento con más sitios de carácter arqueológico e histórico en la isla, donde se evidencia una clara división territorial, producto de la presión hotelera exclusiva que ha venido privatizando la zona costera del corregimiento. De esta forma se observa cómo estos servicios exclusivos se han tomado la zona costera y han ido desplazando a los locales (Roza-Pinzón, 2020).

## METODOLOGÍA

Se realizó un mapeo preliminar de actores y partes interesadas para construir una red de apoyo que permitió fortalecer las capacidades del proyecto Colaboratorio Azul desde diversos frentes sociales, académicos, económicos, tecnológicos. Se implementó una propuesta metodológica con un enfoque co-participativo para la identificación de los impactos producidos por el cambio climático en el patrimonio cultural marítimo en la isla de Tierra Bomba. Dicho enfoque integró a las comunidades locales de manera horizontal en las actividades llevadas a cabo para cumplir con el objetivo del proyecto. En ese sentido, los habitantes de la isla se convirtieron en los actores principales para la identificación de los impactos que el cambio climático ocasiona en el patrimonio cultural; esto, a través de la valoración y reconocimiento de los saberes y prácticas tradicionales de las comunidades en relación con los cambios en los patrones climáticos, los cuales articularon con los vacíos en la información científica.

De esta manera, a partir del desarrollo de mesas de trabajo, talleres, encuestas y visitas a los recursos culturales (Fuerte San Fernando, Tejar de San Bernabé, Fuerte San José y el Leprocomio), durante el último trimestre del 2022,

las comunidades se involucraron en la cocreación de saberes, el desarrollo y fortalecimiento de capacidades investigativas que posibilitaran la gobernanza y la protección del territorio y su patrimonio, en distintas escalas temporales de análisis, y cuya información abordó datos cuantitativos y cualitativos para su desarrollo:

- Primero, la escala de la “larga duración” fue abordada por medio de fuentes primarias e históricas, tales como cartografía histórica, notas de viajeros y diarios de navegación, que permitieron definir elementos naturales; junto a percepciones y sucesos que ayudaron a caracterizar el clima, el patrimonio y sus transformaciones en el tiempo.
- En segunda instancia, la escala de la “media duración”, realizada a partir de los ejercicios prácticos con la comunidad. En este se recurrió al uso de herramientas como el diario de campo, el registro audiovisual, la cartografía social, la metodología del Mandala<sup>9</sup>, así como otras dinámicas participativas. Todo esto, con la finalidad de reconstruir una memoria del paisaje que conllevara a la identificación de las alteraciones provocadas por el cambio climático en relación con el entorno físico y las prácticas tradicionales de la comunidad actual.
- Por último se encuentra la escala de la “corta duración”, en la cual se desarrolló el componente práctico por medio de las acciones de monitoreo, registro de condiciones climáticas y el establecimiento de puntos de registro, entre otros. La finalidad de este ejercicio fue diseñar mecanismos y herramientas de medición de los efectos del cambio climático en el patrimonio cultural del lugar.

### **Análisis de los impactos del cambio climático según la documentación histórica**

Se revisaron fuentes cartográficas (Tabla 1) e imágenes satelitales, a partir de las cuales se realizó una caracterización histórica de las transformaciones del paisaje cultural marítimo y costero local; lo cual permitió obtener una aproximación a los procesos ambientales que han tenido lugar en Cartagena de Indias, particularmente en la isla de Tierra Bomba. Para el caso de la cartografía histórica, el análisis de la

<sup>9</sup> Esquema que permite sistematizar información general y específica, encaminada a identificar el universo sociocultural de la comunidad por medio de diferentes actividades y los objetos asociados a la vida cotidiana.

información se dividió en tres fases: (i) Recopilación y selección de la cartografía histórica. Después de la obtención de una primera base de datos con información por cada uno de los sitios analizados, se escogieron algunas referencias cartográficas para la superposición. (ii) Superposición de los mapas históricos con la fotografía aérea de ArcMap

(empleando el software ARGIS). Para llevar a cabo la georreferenciación se tomaron en cuenta puntos de apoyo que no habían cambiado a lo largo del tiempo (como, por ejemplo, las fortificaciones de la bahía de Cartagena), preferiblemente en lugares distanciados del mapa, manteniendo una relación de la proporción de la imagen. (iii) Calco

y vectorización de las diferentes líneas de costa de los mapas. En algunos de ellos se muestran líneas de costa de diferentes años que también fueron calcadas.

**Tabla 1.** Principales fuentes cartográficas consultadas.

Título	Año	Autor	Signatura
<i>Plano de la Ciudad de Cartagena de Yndias, situada en 10 grados y 26 minutos de latitud septentrional y en 304 de longitud</i>	1716	Anónimo	AGI MP-PANAMA,123
<i>Plano de la Bahía de Cartagena de las Yndias, Levantado por el Mro. de Campo Dn. Juan de Herrera y Sotomayor Ingeniero militar de esta Plaça y delineado por el Capn. de Cavallos Dn. Carlos de Briones Hoyo y Abarca Theniente de Yngeniero militar y Castellano del Castillo de San Felipe de Barajas</i>	1721	Juan de Herrera y Sotomayor	Biblioteca Digital Hispánica No. bdh0000031660
<i>Ysla de Tierra Bomba: Mapa de la Península de Tierra Bomba y Carex en que se esplica la división de una cavallería de tierra del Colegio de la Compañía de Jesús con las tierras del capitán, Don Alberto de Sucre según el Compromiso</i>	1734	Anónimo	AGI MP-PANAMA,261
<i>Grundriss Cartagena in Indien, 1735.</i>	1735	Ulloa, Antonio de Arévalo	Bibliothèque nationale de France, GED-2372 (VII)
<i>Plano de Cartagena de Indias [Plano general de la plaza de Cartagena de Yndias, parte de su bahia y terreno de sus inmediaciones para la inteligencia de la situacion de la abertura de Bocagrande, abenida peligrosa para dicha plaza y la del Ysthmo que entre esta...]</i>	1769	Antonio de Arévalo	Biblioteca Virtual de Patrimonio Bibliográfico MN — Signatura: 28-A-14
<i>Plano de la canal de Bocachica única entrada de navíos a la bahía de Cartagena de Yndias y de la parte del terreno inmediato de sus costados del norte y sur formado en virtud de la orden de SM de 18 de octubre de 1768 para dar conocimiento del efecto que ha causado el mar en la plara de ella, desde octubre de 1757 hasta el día de la fecha y de la necesidad del establecimiento de las embarcaciones llamadas betas que en dicha Real Orden se previenen para extraer la arena que las mareas y vientos acantonan</i>	1792	Antonio de Arévalo	Cartografía y relaciones históricas de ultramar; Servicio Histórico Militar, Servicio Geográfico del Ejército Tomo V

Título	Año	Autor	Signatura
<i>Plano del puerto de Cartagena de Indias: situada la ciudad en la latitud N de 10° 26' 07" y longitud 69° 20' 01" al Oeste de Cadiz: [carta nautica]   España. Dirección de Trabajos Hidrográficos</i>	1809	Anónimo	Institut Caartografic i Geologic de Catalunya
<i>Cartagena</i>	1885	Anónimo	CO.AGN.SMP.4,REF.X-71
<i>Plano del Puerto de Cartagena de Indias, situada la ciudad en la latitud N de 10° 26' 07" y longitud de 75° 33' 10" al oeste de Greenwich.</i>	1910	Vergara y Velasco, Francisco Javier 1860-1914	Biblioteca Nacional de Colombia fmapoteca_1332_fbnc_110
<i>Ayudas a la navegación en servicio en la bahía de Cartagena</i>	1973	Anónimo	Acero Rangel, J. A. (2019). Sistema de ayudas a la navegación de Colombia: del acetileno al monitoreo remoto "Una luz para arribar seguro a puerto"

### Articulación de saberes sobre el cambio climático

Con la finalidad de generar conocimientos horizontales alrededor de las afectaciones del cambio climático en la isla de Tierra Bomba y, en general, en Cartagena de Indias, se realizaron talleres encaminados a construir las bases generales acerca de los impactos de este en los patrimonios culturales marítimos,

convocando a los principales actores sociales de los corregimientos y entes institucionales (Fig. 2). A estos talleres asistieron representantes de la comunidad de la isla de Tierra Bomba, miembros de la fundación Vigías de Karex, la fundación Los Jagüeyes, la Dirección General Marítima (Dimar), del Instituto de Patrimonio Cultural de Cartagena, la Universidad de Cartagena, la Escuela Taller de Cartagena de Indias (ETCar) y el Museo Naval del Caribe.



**Figura 2.** Participantes y actividades de la primera mesa de trabajo.

En el primer taller (Fig. 3), llevado a cabo en la Universidad de Cartagena en noviembre del 2022, se implementó una actividad introductoria, orientada en discusiones sobre seis aspectos primordiales: el cambio climático, las afectaciones a la comunidad, el entorno marítimo costero, el patrimonio, las variables climáticas y las unidades de observación de esas afectaciones. Para ello, se hicieron lecturas de diarios de prensa del siglo XX, que abordaron temas relacionados con inundaciones, lluvias, ciclones, tormentas y

demás afectaciones a las zonas costeras y sitios patrimoniales (Fig. 3).

Así mismo, se consultó a los participantes sobre las formas, reflexiones y percepciones alrededor de los efectos del cambio climático y su relación con el patrimonio cultural marítimo y costero. Una vez compilada y digitalizada la información suministrada por la comunidad, esta fue analizada a la luz de las investigaciones científicas realizadas en el área.



Figura 3. Mesa de trabajo alrededor de las discusiones sobre notas de prensa del siglo XX.

### Estrategia de difusión y divulgación

Como parte de las medidas de captura y divulgación de los resultados de la investigación, se implementó una estrategia que permitió captar el interés del público objetivo y crear una comunidad virtual para la formación y el fortalecimiento comunitario de capacidades teóricas y prácticas que permitiesen diagnosticar los impactos del cambio climático en los patrimonios regionales (Del Cairo *et al.*, 2023).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de las actividades del mapeo preliminar del público de interés y actores, se construyó una red de apoyo que permitió fortalecer las capacidades del proyecto Colaboratorio Azul desde diversos frentes sociales, académicos, económicos, tecnológicos. Entre las entidades identificadas con mayor potencialidad, se

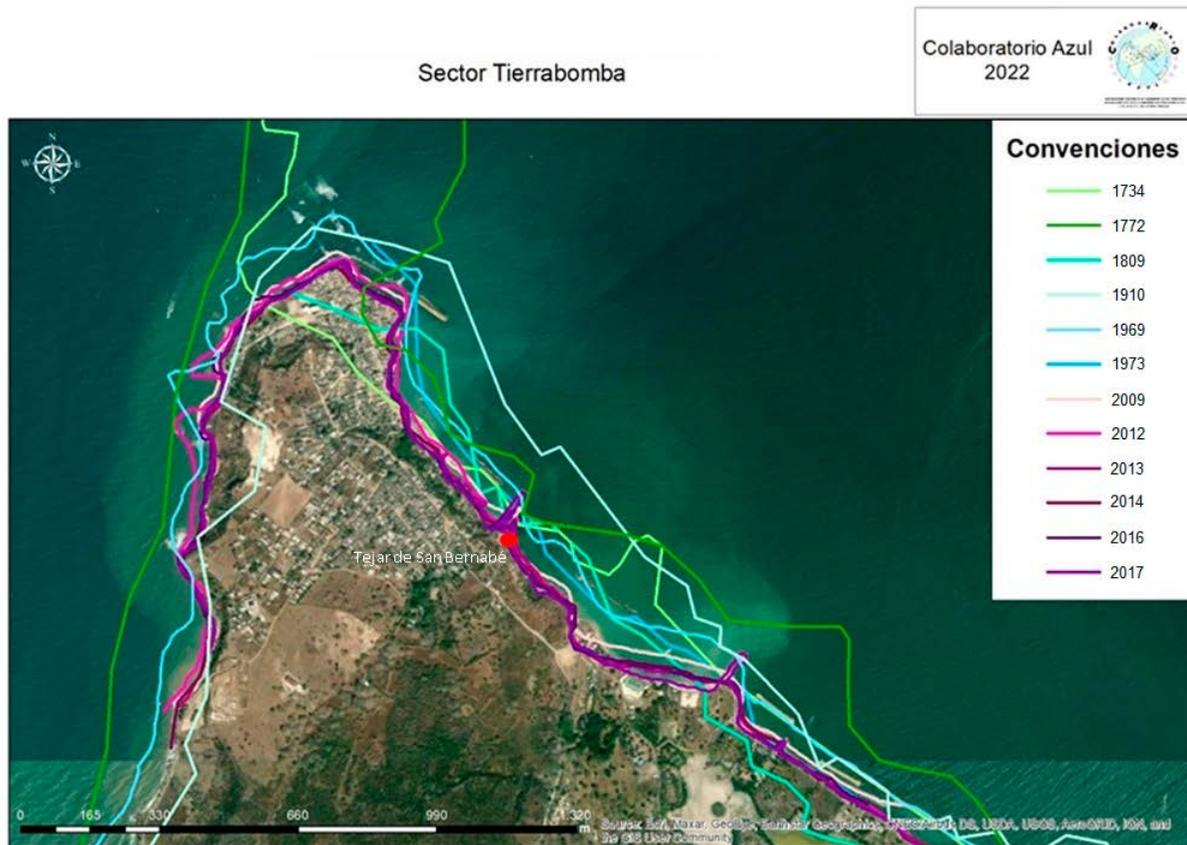
reconocieron: el Museo Naval del Caribe, la Dimar, la Capitanía de Puerto de Cartagena, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), la Escuela de Taller de Cartagena de Indias, la Alcaldía de Cartagena, el Instituto de Patrimonio Cultural de Cartagena, el Grupo Conservar y el Museo Comunitario de Tierra Bomba; organizaciones como Vigías de Karex, Cartagena Divers y la Universidad de Cartagena; como actores internacionales se destacaron principalmente la Universidad de California y la Universidad de Panamá (Del Cairo *et al.*, 2023).

### Los impactos del cambio climático según la documentación histórica

A partir de la superposición de la información histórica, se logró identificar cómo la isla de Tierra Bomba ha sufrido grandes transformaciones a lo largo de los siglos (Fig. 4), atribuidas a acciones humanas y naturales. Por ejemplo, en el caso de

las primeras, en el sector norte de la isla, durante el siglo XVII y parte del XVIII se identifica que estaba unida a la península de Bocagrande por una porción terrestre y a partir de la segunda

mitad del siglo XVIII, con la apertura del canal y, por consiguiente, la construcción de la escollera, cambió la morfología del norte de la isla.

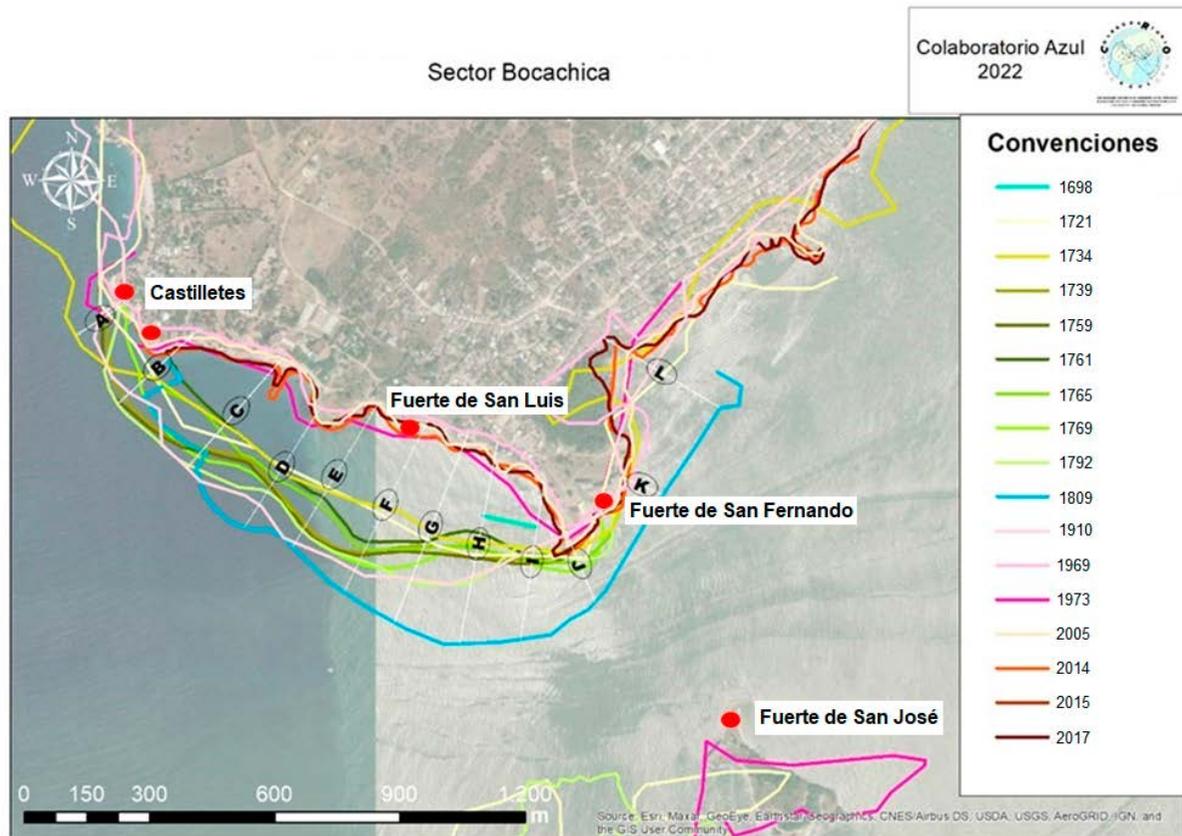


**Figura 4.** Evolución de la línea de costa en el sector de Tierra Bomba desde el siglo XVIII hasta el XXI.

Este hecho constituye un antecedente importante a tener en cuenta para el análisis de la línea de costa. Sin embargo, a partir de los siglos XX y XXI se identifica erosión costera en la zona norte de la isla de hasta 265 m. Al revisar los cambios en la temperatura en Cartagena de Indias, durante un periodo de 42 años, comprendido entre 1979 y 2021, se encontró un aumento gradual tal, que durante los años 2015 y 2016 se presentaron las temperaturas más altas registradas al momento, por encima de los 28°C. De ahí que, con el ejercicio de superposición cartográfica realizado en el marco del proyecto (Fig. 4) y con los datos recuperados por otros investigadores (Andrade *et al.*, 2017; Mora *et al.*, 2018), se haga evidente cómo en los últimos 100 años se ha perdido más línea de costa en

comparación con los siglos anteriores, y surge la posibilidad de que este comportamiento esté asociado con los efectos del cambio climático.

En el sector de Bocachica (Fig. 5), durante el periodo de finales del siglo XVII y el siglo XVIII, se observa que hubo varias transformaciones de la línea costera, dándose un incremento de la depositación del sedimento, especialmente en la zona sur entre el Fuerte de San Fernando y Castilletes; llegando a ser de hasta 94 m, entre 1698 y 1721, y de hasta 127 m, entre 1721 y 1792 frente al Castillo de San Luis de Bocachica. Durante el periodo comprendido entre 1809 y 1910 se observó una tendencia marcada hacia la erosión costera; aunque es importante reconocer que se requiere una verificación adicional de los



**Figura 5.** Evolución de la línea de costa en el sector de Bocachica desde el siglo XVII hasta el XXI.

datos con estudios topográficos y batimétricos, por ejemplo, para obtener mediciones más precisas de la elevación y la profundidad.

Finalmente, en la zona de Caño de Loro (Fig. 6) se tiene una morfología compleja que se ha mantenido de manera similar a lo largo de los siglos, por este motivo realizar la superposición cartográfica del siglo XVII tuvo mayores complicaciones. A nivel general, se observa que la zona de Caño de Loro ha tenido una tendencia a la erosión, ya que se evidencian procesos de desgaste y retroceso de la línea de costa a lo largo de los siglos XVIII y XIX. Se evidencian algunos sectores como el complejo hospitalario y las estructuras del Lazareto, los cuales han sufrido una fuerte erosión en los últimos 120 años. Durante el transcurso del siglo XX se identifica una variabilidad en la dinámica costera en esta región.

Según Posada, Henao y Morales (2011), la población de Caño de Loro está sujeta principalmente a inundaciones provocadas por las marejadas y el fuerte oleaje que generan los barcos mercantes a su paso por los alrededores, que a su vez generan erosión, razón por la cual ha sido necesario reubicar algunas viviendas. La primera línea de viviendas en el costado norte de la población se ve fuertemente afectada debido a lo bajo del terreno, pues se asienta sobre pantanos intermareales con rellenos antrópicos. A lo largo de la línea de costa se encuentra la acumulación de bloques y la construcción de muros, a manera de protección contra las marejadas.

Para el periodo reciente, los estudios sobre cambios en la línea de costa de la isla de Tierra Bomba son escasos y los existentes están vinculados con acciones humanas. En el realizado por Afanador *et al.* (2008) se menciona que gran

parte de sus playas están afectadas por procesos de erosión litoral y, solo en algunos sectores, la construcción de una serie de espolones distribuidos de forma irregular ha disminuido ligeramente el retroceso de la línea de costa. Recientemente, Ricaurte *et al.* (2018) mostraron que Tierra Bomba se encuentran en un nivel alto de amenaza por erosión costera en su costado frente a la bahía, y muy alto en el costado frente al mar. Esto se le atribuye a que no cuenta

con estructuras naturales de protección que la resguarden del oleaje, el cual impacta constante y directamente, degradando paulatinamente el material rocoso existente. No obstante, aunque la parte interna se encuentra resguardada del oleaje incidente (producto del viento), sí puede verse afectada por aquel producido por el tránsito de embarcaciones, el cual podría ser uno de los factores importantes que genera erosión (Amell *et al.* 2012).



**Figura 6.** Evolución de la línea de costa en el sector Caño de Loro, siglos XIX-XX.

Con base en lo anterior, es necesario plantear diversas hipótesis que permitan corroborar si la erosión costera y la elevación del nivel del mar corresponden únicamente a indicadores asociados al cambio climático, ya que se hace necesario tener en cuenta factores adicionales que generan dichas transformaciones físicas. En este sentido, es posible hacer alusión a las modificaciones antrópicas del entorno, que durante la época colonial se realizaron para

garantizar una defensa estratégica de la bahía y que han podido generar variaciones; por ejemplo, los dragados realizados en el siglo XVIII en la zona del antiguo canal militar de Bocachica o el acceso de Bocagrande, con la construcción de La Escollera. Adicionalmente, integrar factores asociados con las dinámicas geológicas y combinarlas con lo descrito permitirá comprender las causas de las transformaciones de la línea costera de Cartagena de Indias.

### Articulación de saberes acerca del cambio climático

Como resultado de los grupos de discusión se identificaron algunas variables ambientales asociadas a eventos climáticos (Tabla 2), no solo para Tierra Bomba sino para otros sectores de Cartagena. Entre las más representativas se mencionaron las lluvias, los fuertes vientos y las inundaciones.

**Tabla 2.** Variables identificadas durante el taller que integró la metodología del presente estudio.

VARIABLES	Nº. menciones
Lluvias	17
Viento	16
Inundación	13
Huracanes	10
Mareas altas	11
Enfermedades	6
Tormentas	3
Sequía	2
Cambio en la línea de costa	2

Adicionalmente, la comunidad señaló que las zonas más afectadas por los fenómenos mencionados fueron aquellas que se encuentran ubicadas en los contextos más cercanos a la línea de costa y en los espacios intermareales. Entre otros territorios impactados por estos mismos, fuera de Tierra Bomba, se identificaron otras áreas que sirven de insumo para nuevas aproximaciones, tales como El Laguito, Bocagrande, Castillo Grande, el Centro Histórico, Getsemaní, San Diego, Marbella y sectores rurales que rodean la ciénaga de la Virgen; asimismo, los sectores rurales de Tierra Bomba, Bocachica y Barú (Fig. 7).

Las percepciones de la comunidad (Tabla 2) pueden agruparse en atmosféricas y marinas. Entre las primeras se incluyen: lluvias, vientos, huracanes, tormentas y sequías; mientras que, entre las segundas se da cabida a mareas altas y cambios en la línea de costa. Por su parte, las inundaciones podrían tener cabida en cualquiera de las dos, si su origen es por exceso de precipitaciones o por variaciones del nivel del mar.

Por otro lado, en el desarrollo de las visitas a

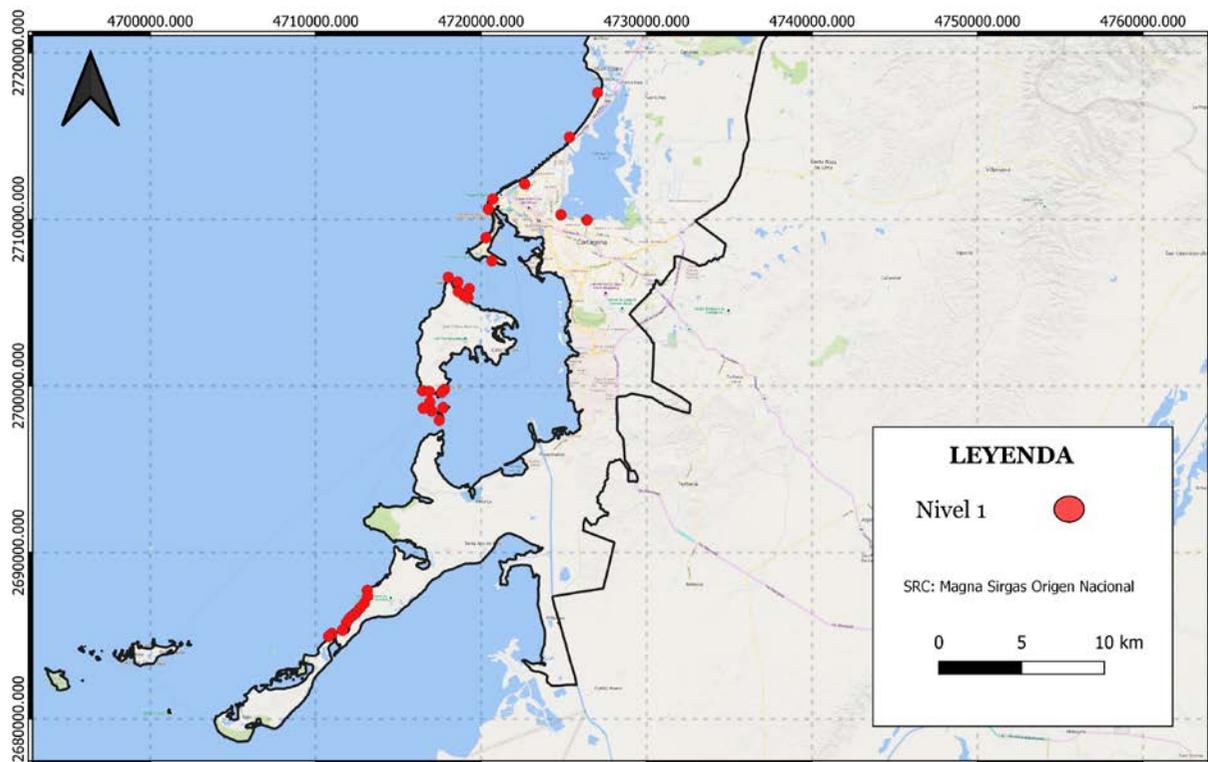
tres sitios del patrimonio cultural como el Tejar de San Bernabé, el Fuerte de San Fernando y el Leprocomio), los cuales se encuentran en mayor riesgo por las inundaciones y pérdida de las estructuras debido a la erosión y a la contaminación por residuos, se identificaron algunos elementos asociados con las variables climáticas y acciones administrativas que han permitido el continuo deterioro de estos.

En el Tejar de San Bernabé, ubicado en el corregimiento de Tierra Bomba, se observó la descomposición y desaparición de algunos de los elementos estructurales; por ejemplo, presentó concreciones, alteraciones por la fauna marina y erosión. Adicionalmente, se identificó una alteración de sitios por pequeñas raíces, algunos insectos como lombrices de tierra, arañas e incluso perros. Finalmente, la erosión del terreno ha ocasionado pérdidas de los contextos arqueológicos y el deterioro de artefactos.

Respecto al Fuerte de San José, ubicado en el corregimiento de Bocachica, se observó la alteración de los sitios por el oleaje que impacta contra los muros del fuerte, además de los procesos de deterioro por humedad que han llevado a afectar a los grafitis y los cambios en el nivel del mar que han llevado a que esté inundado y que se convierta en hábitat de fauna y flora.

En cuanto al Leprocomio, ubicado en el corregimiento de Caño del Oro, se identificó el crecimiento de vegetación, sectores inundados por las lluvias y el aumento del nivel del mar, que han llevado al incremento de los daños a las infraestructuras.

Teniendo en cuenta estos contextos, los daños en los inmuebles, los ecosistemas y los sistemas sociales, incluidos los sitios del patrimonio cultural, se han atribuido principalmente a los cambios en la temperatura del aire y el agua en la atmósfera, principales responsables de la destrucción de estructuras de piedra y ladrillo (Vyshkvarkova y Sukhonos, 2023). Sesana *et al.* (2021) revisaron la literatura que investiga los impactos de los cambios graduales en temperatura, precipitación, humedad y el viento sobre los mecanismos causantes de la degradación del patrimonio expuesto al medio exterior. De acuerdo con Sabbioni, Cassar y Brimblecombe (2009), el agua es el factor de deterioro más importante



**Figura 7.** Áreas afectadas por los fenómenos climáticos identificadas por la comunidad local. En ellas se observan otros lugares no contemplados para este caso de estudio, aunque estos son útiles para las consideraciones finales y plantear la continuidad de esta investigación.

para los edificios y especialmente para el entorno histórico, debido a un mayor riesgo de penetración de humedad en materiales históricos, incluida la mampostería, lo cual a su vez conlleva a corrosión y colonización biológica.

Por su parte y con respecto a las variaciones del nivel del mar, el más reciente reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), muestra que, en el ámbito global, el nivel medio del mar aumentó 0.20 m entre 1901 y 2018. A nivel local, el panorama no

es alentador, pues la subsidencia costera en Cartagena de Indias se da a un ritmo más alto en comparación con el incremento global del nivel del mar impulsado por el cambio climático (Restrepo-Ángel *et al.*, 2021).

Estos autores muestran que en un escenario simulado al 2100, el costado este de Tierra Bomba (de cara a la bahía) estaría más afectado que su costado oeste (de cara al mar), siendo la zona noreste la más afectada. Esta zona se encuentra dentro de las presentadas como inundables por Castillo y Gamarra (2014), quienes refieren zonas de marismas y ciénagas que cambian de tamaño (se abren o se cierran), según la época climática. Los resultados de estos autores también revelan que las comunidades tendrán una percepción diferente, según el costado de la isla que habiten.

Los encuentros y diálogos desarrollados durante el Colaboratorio Azul con las comunidades, la academia e instituciones permitieron conocer, desde diversas perspectivas, cuáles son los factores climáticos presentes, que a partir de su transformación e incremento en el tiempo son protagonistas de los efectos y daños presentes en el entorno (paisaje), y en las dinámicas y calidad de vida de las comunidades que conviven esos territorios. Las más mencionadas y recurrentes fueron las mareas, corrientes de agua y vientos; seguidas de las altas precipitaciones, el aumento del nivel del mar y las altas temperaturas. La comunidad también manifestó la necesidad de tener presente que el comportamiento de cada una afecta a las otras. De tal manera que, al encontrarse una en desequilibrio la otra ocasiona este mismo efecto en las demás, y esto se ve reflejado en la cotidianidad de las personas con el territorio isleño, como lo expresa uno de los fragmentos de las entrevistas realizadas a la comunidad:

*"El mar antes no estaba como está ahora, el mar es más suave. Aquí había brisa como en el mes de enero, pero ahora eso aumenta, pero ahora como ha habido mareteros, eso trae otra dinámica creo, el mar demasiado lleno".* (Fragmento de entrevista a Eligio Guerrero, 73 años, de la comunidad de Tierra Bomba; Del Cairo *et al.*, 2023).

## **Difusión y divulgación**

Se construyó un plan de comunicaciones que se centró en dos etapas: la primera, encaminada a la creación de un grupo de WhatsApp donde la comunidad e institucional compartiera, en tiempo real, las afectaciones del cambio climático en sus lugares de vivencia, además de otras publicaciones de interés para los locales y fortalecer así las redes de apoyo interinstitucionales. La segunda, se enfocó en el uso de plataformas digitales como StoryMaps y redes sociales (Instagram, Facebook y LinkedIn), con el fin de generar un espacio informativo y dinámico, al alcance de los actores interesados.

Con lo anterior se construyó una red virtual que conllevó a discusiones y propuestas para cocrear estrategias que permitiesen, eventualmente, proteger los patrimonios culturales marítimos. De esta manera las comunidades que se encuentran vinculadas a esta entiendan los efectos del cambio climático, pero así mismo generen mecanismos de mitigación y protección de sus herencias culturales, tangibles e intangibles (Del Cairo *et al.*, 2023).

## **CONCLUSIONES**

En Colombia, como único país bioceánico de Suramérica y con características geográficas muy variables, se ha visto la importancia de generar una conciencia de acción, ajustada a las políticas y lineamientos internacionales que buscan desarrollar una estrategia de mitigación a los efectos del cambio climático. Asimismo, se ha hecho latente la necesidad de estructurar medidas de adaptación intersectoriales ante los escenarios adversos que puedan generar riesgos para la población y los territorios. Por ejemplo, desde algunas de las entidades participantes en las mesas de trabajo interinstitucionales, como la Dimar y su centro de investigaciones CIOH, se han estructurado mecanismos para el monitoreo y la protección de los escenarios marítimos y los ecosistemas marino-costeros, mediante el desarrollo de investigación científica (Vallejo y Pico, 2022; Del Cairo *et al.*, 2023).

Como una de las soluciones a esta problemática global, se han incorporado en diferentes planes de desarrollo del orden nacional las acciones, causas y medidas de prevención de desastres naturales.

Mediante el documento Conpes 3990 “Potencia Bioceánica Sostenible”, del Departamento Nacional de Planeación, se establece la línea de desarrollo marítimo. A su vez, se discute la debilidad técnica que existe para la gestión de riesgos por fenómenos naturales costeros, alineado a los efectos de cambio climático. Para los asentamientos costeros, esto implica una mayor participación al afrontar los retos que representa el cambio climático, debido a que una de las principales repercusiones de este fenómeno es el aumento significativo del nivel medio del mar.

Tal y como se ha reflejado en múltiples fuentes de información primaria y secundaria, el cambio climático representa uno de los mayores riesgos al desarrollo de la biodiversidad, y la sostenibilidad social y cultural del ser humano en el planeta. Este fenómeno establece una nueva realidad, en donde la atención a los factores ambientales, como el aumento del nivel del mar y la contaminación atmosférica, basada en los gases de efecto invernadero, refleja una necesidad que involucra en primera medida a los países industrializados y a los que se encuentran en vía de desarrollo, como los mayores afectados en gran parte de los casos (Vallejo y Pico, 2022).

De esta manera, en función a lo reseñado a lo largo del artículo y la información obtenida en esta investigación, se logró evidenciar cómo los efectos del cambio climático han generado impactos tangibles y medibles en los entornos costeros de Tierra Bomba. A su vez, se observan transformaciones en los recursos naturales y patrimoniales, así como impactos en el patrimonio arqueológico, las tradiciones, los conocimientos y la calidad de vida de las comunidades. Esto ha persistido en el tiempo y el espacio a causa de la falta de educación, de oportunidades laborales y el acceso a la información. Por consiguiente, derivado de lo dialogado en los espacios horizontales de discusión, se ha manifestado la necesidad de generar soluciones a estas afectaciones, dadas las consecuencias que se evidencian en el entorno en el que habitan las comunidades. Además, se debe posibilitar la coproducción de conocimiento en el marco de un proceso de gestión comunitaria sostenible del riesgo local, al tiempo que se conoce y protege su pasado.

Con esta primera fase de evaluación de los impactos del cambio climático se logró obtener

como insumo analítico, herramientas que faciliten la conceptualización integral de la información, contribuyendo a una mayor facilidad para su manejo y análisis, al tiempo que se erigen como mecanismos de monitoreo ambiental. Como impacto indirecto se espera que se genere una mayor conciencia sobre la relación entre el cambio climático y el pasado (como fenómeno natural con incidencia antrópica de carácter diacrónico) por medio de enfoques participativos. Lo anterior, propendiendo por el empoderamiento de las comunidades locales frente a sus efectos, su patrimonio, y las evidentes y constantes amenazas a las que se han enfrentado históricamente, se enfrentan actualmente y se enfrentarán en el futuro a corto, mediano y largo plazo.

En definitiva, Colombia es un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático. Teniendo en cuenta que es un territorio privilegiado por su posición geográfica, condiciones oceánicas y recursos naturales, es imperativo generar estrategias y políticas que se ajusten a las directrices internacionales que permitan fortalecer las medidas de mitigación y adaptación a este fenómeno (Cancillería, 2022). Como se ha resaltado, el cambio climático es un asunto primordial que debe tener la atención de todas las entidades y en todos los niveles. Como factor determinante en la búsqueda de estrategias adecuadas para afrontar la crisis climática que se pronostica para los próximos años, resulta clave la adaptación, ya que indudablemente, cambiará la forma en la que las naciones se preparan para afrontar los eventos adversos de una manera resiliente.

## **AGRADECIMIENTOS**

El proyecto Colaboratorio Azul fue desarrollado gracias al apoyo del Instituto Distrital de Patrimonio Cultural de Cartagena, la Universidad de Cartagena y la Fundación Colombia Anfibia, además de la dedicada participación de diferentes entidades gubernamentales, comunitarias y académicas. Estos esfuerzos multisectoriales e interdisciplinarios contaron con la participación de la Dimar, el CIOH, el Ministerio de Cultura de Colombia, la Fundación Vigías de Carex de Bocachica, la Escuela Taller de Cartagena, la Sociedad de Mejoras Públicas de Cartagena y el Grupo Conservar. A su vez, fue realizado gracias

a un grupo de coinvestigadores provenientes de las comunidades de los corregimientos de Caño de Loro, Tierra Bomba y Bocachica: Donayo Guzmán, Esteisi Córdoba, Maray Rodríguez, Reinaldo Julio, Germán Castro, José Julio y Kelly Mercado.

### FUENTE FINANCIADORA

Este proyecto de investigación científica fue financiado por el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural de Cartagena y la Universidad de Cartagena.

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: C. DelC., G. C., L. R., L. B.; metodología: C. DelC., G. C., J. A., L. B.; análisis: C. DelC., G. C., L. R., S. V., J. A., J. C., L. B.; software: L. R., L. B.; investigación: C. DelC., G. C., G. H., L. R., J. A., L. B.; validación: C. DelC., G. H., S. V., J. C.; redacción y preparación del borrador original: C. DelC., G. C., L. R., L. B., S. V., J. A., L. B.; redacción - revisión y edición: C. DelC., G. C., G. H., L. R., J. A., J. C., L. B.; supervisión, C. DelC., G. C.; administración del proyecto: C. DelC.; consecución de fondos: C. DelC. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, C. (2008). Cambios recientes del nivel del mar en Colombia. En: J. D. Restrepo (ed.). *Deltas de Colombia: morfodinámica y vulnerabilidad ante el Cambio Global. Fondo Editorial Universidad Eafit, Colciencias, pp. 101-121.*

Andrade, C.; Ferrero, A.; León, H. (2017). *Sobre cambios en la línea de costa entre 1735 y 2011 y la subsidencia en la bahía de Cartagena de Indias, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 41(158): 94-106.*

Afanador, F.; Orozco, F.; Gómez, J.; Carvajal, A. (2008). Ortofotografía digital y datos LIDAR para el control y administración del litoral en la isla de Tierra Bomba, Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH, 26: 86-103.* <https://doi.org/10.26640/22159045.187>

Amell, A.; Díaz, A.; Peña, A.; Martínez, A.; Martínez, G.; Leauttau C. (2012). *Ayer y hoy*

*Tierra Bomba. Bogotá D.C. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Pp. 04-85.*

Posada, B.; Henao, W.; Morales, D. (2011). *Diagnóstico de la erosión costera del territorio insular colombiano. Bogotá D. C. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar).*

Barba, H.; Díaz, B.; Luna, P. (2010). *El patrimonio arqueológico en costas y mares de México ante el cambio climático. p. 639-654. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio climático en México un enfoque costero-marino. Universidad Autónoma de Campeche.*

Cáceres, M.; Romero, J. (2017). Climate change and cultural heritage in Tierra Bomba Island, Colombia. In: *Cultural Heritage and Climate Change* (pp. 189-204). Routledge.

Cancillería. (2022). Ministerio de Relaciones Exteriores - Cambio climático. Obtenido de <https://www.cancilleria.gov.co/cambio-climatico-0>

Caraballo, L. (2020). La desigualdad en la zona insular de Cartagena. *Saber, Ciencia y Libertad en Germinación, 13: 32-34.*

Castillo, M.; Gamarra, E. (2014). *Análisis multitemporal de la línea de costa en la isla de Tierra Bomba y proyección del mapa de inundación por aumento del nivel medio del mar. Bol. Cient. CIOH, 32: 163-177.* <https://doi.org/10.26640/22159045.270>

Del Cairo, C.; Riera, C.; Báez, V.; Aldana, J.; Caro, G.; Rozo, L. (2022). *Componente Arqueológico del Plan Especial de Manejo y Protección - PEMP FORT BAHÍA, Cartagena de Indias e Inmediaciones. Ministerio de Cultura - Escuela Taller de Cartagena de Indias.*

Del Cairo, C.; Caro, G.; Rozo, L.; Báez, V.; Acosta, D.; Palacios, N.; Rodríguez, J.; Aldana, J. (2023). *Colaboratorio Azul: efectos del cambio climático en los bienes de interés cultural de Cartagena de Indias, Colombia. Universidad de Cartagena - Instituto Distrital de Patrimonio Cultural - Fundación Colombia Anfibia.*

Distrito de Cartagena de Indias. (2016). *Cambio climático. Observatorio Ambiental de*

- Cartagena de Indias*. Obtenido de <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/generalidades-de-cartagena/aspectos-ambientales/cambio-climatico/>
- Ezcurra, P.; Rivera, I. C. (2018). An assessment of the impacts of climate change on Puerto Rico's Cultural Heritage with a case study on sea-level rise. *Journal of Cultural Heritage*, 32: 198-209.
- Figueira, F.; Howard, P. (Eds.) (2019). *Heritage in the Context of Climate Change: Impact, Adaptation, and Mitigation*. Routledge.
- Forero, E.; Hernández, Y.; Zafra, C. (2023). Percepción de cambio climático: metodologías, herramientas y estrategias de adaptación en comunidades locales. Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1): 73-85. Retrieved May 25, Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262014000100009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000100009&lng=en&tlng=es).
- González, A.; Torres, L. (2019). Assessment of climate change impacts on coastal water resources in Tierra Bomba Island, Cartagena, Colombia. In: *Climate Change and its Impact on Water Resources*. Pp. 141-161. Springer.
- Guiao, C. (2020). Recognizing the role of cultural heritage in climate change adaptation: Relevant platforms and workstreams under the United Nations framework convention on climate change. *Philippine Law Journal*, 93(4): 1061-1088.
- Henriksen, J. (2007). *Report on Indigenous and Local Communities highly vulnerable to Climate Change inter alia of the Arctic, Small Island States and High Altitudes, with a focus on causes and solutions*. Convenio sobre la Diversidad Biológica Signatura del documento de las Naciones Unidas: UNEP/CDB/WG8J/5/INF/.
- ICOMOS (11 de diciembre de 2020). *ICOMOS Declares a Climate Emergency*. Obtenido de *Climate Change*: <https://www.icomos.org/en/focus/climate-change/85740-icomos-declares-a-climate-emergency>
- Iregui, L.; García, J. (2016). Evaluating the potential impacts of climate change on tourism in Tierra Bomba Island, Colombia. *Journal of Destination Marketing & Management*, 5 (3): 260-267.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Mora, H.; Carvajal, J.; Ferrero, A.; León, H.; Andrade, C. (2018). Sobre emanaciones de gas natural y la evidencia preliminar de subsidencia en la bahía Cartagena de Indias (Colombia). *Bol. Cient. CIOH*, 37: 35-51. <https://doi.org/10.26640/22159045.2018.448>
- Morel, H.; Megarry, W.; Potts A.; Hosagrahar J.; Roberts D.; Arian Y.; Brondizio E.; Cassar M.; Flato G.; Forgysson S.; Jigyasu R.; Masson-Delmotte V.; Oumarou Ibrahim H.; Pörtner H. O.; Sengupta S.; Sherpa P.-D.; Veillon R. (2022). *Global Research and Action Agenda on Culture, Heritage and Climate Change*. Charenton-le-Pont & Paris, France: ICOMOS & ICSM CHC.
- Moshenska, G. (2014). Future Pasts: Landscape, Memory, and Climate Change. *Archaeological Dialogues*, 21(2); 151-167.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. Consultado en [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- Parra, E.; Anaya, J. (2017). Vulnerability to climate change in the community of Bocachica, Tierra Bomba Island, Colombia. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 12 (5): 886-902.
- Pabón, J. (2003a). El aumento del nivel del mar en las costas y área insular de Colombia. En: *El Mundo marino de Colombia, investigación y desarrollo de territorios olvidados*. Red de Estudios del Mundo Marino (Remar). Universidad Nacional de Colombia, pp.75-82.
- Pabón, J. (2003b). *El cambio climático global y su manifestación en Colombia*. Cuadernos de Geografía, XII (1-2): 111-119.

- Pabón, J.; Lozano, J. (2005). Aspectos relacionados con las estimaciones globales y regionales del ascenso del nivel del mar y su aplicación a Colombia. *Cuadernos de Geografía*, 14: 97-106.
- Picó, A.; Rodríguez, M.; Acosta, R.; Madero, M. (2013). Bocachica, integración territorial y acceso a servicios públicos: Construir puentes hacia el desarrollo social. En: Espinoza, A., Alvis, J. (compiladores). (2013). *Pobreza rural y desarrollo humano en Cartagena de Indias*. Pp. 145-185. Routledge.
- Rangel, E.; Montealegre, J. (2003). Análisis de las series del nivel del mar en el Pacífico colombiano y su relación con el cambio climático. *Meteorología Colombiana*, 7: 53-66.
- Reeder-Myers, L. (2015). Patrimonio cultural en riesgo en el siglo XXI: una evaluación de la vulnerabilidad de los sitios arqueológicos costeros en los Estados Unidos. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 10 (3): 436-445
- Restrepo-Ángel, J.; Mora-Páez, H.; Díaz, F.; Govorcín, M.; Wdowinski, S.; Giraldo-Londoño, L.; Duque-Trujillo, J. (2021). Coastal subsidence increases vulnerability to sea level rise over twenty first century in Cartagena, Caribbean Colombia. *Scientific Reports*, 11 (1): 1-13.
- Riera, C; Báez, V. (2022). Aproximaciones a los efectos del cambio climático en los sitios arqueológicos costeros de Cartagena de Indias (Colombia). Consultado en <https://www.oceandecadeheritage.org/aproximaciones-a-los-efectos-del-cambio-climatico-en-los-sitios-arqueologicos-costeros-de-cartagena-de-indias-colombia/>
- Ricaurte, C.; González, M.; Coca, O.; Bejarano, M.; Morales, D.; Correa, C.; Briceño, F.; Legarda, G.; Arteaga, M. (2018). *Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis - Invemar.
- Rivera-Collazo, I. (2021). Climate change and archaeological sites: A case study for parthering cultural heritage and climate action. In: *Stemming the tide: Global strategies for sustaining cultural heritage though climate change*. Smithsonian.
- Rozo-Pinzón, L. (2020). *Infraestructura cultural comunitaria: un modelo de sostenibilidad y gestión para el patrimonio cultural marítimo de bocachica, Cartagena de Indias*. Tesis de pregrado. Universidad Externado de Colombia.
- Rubio-Ardanáz, J. (2014). *Antropología y maritimidad. Entramados y constructos patrimoniales en el Abra y Ria de Bilbao*. Vol 1. Bilbao.
- Sabbioni, C.; Cassar, M.; Brimblecombe, P. (2009). Vulnerability of cultural heritage to climate change. *Pollution Atmospherique*, 203: 285-298.
- Sesana, E.; Gagnon, A.; Ciantelli, C.; Cassar, J.; Hughes, J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(4): e710.
- Torres, R.; Tsimplis M. (2013). Sea-level trends and interannual variability in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res. Oceans*, 118: 2934-2947.
- Unesco. (2005). *Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial*. París: Centro del Patrimonio Mundial de la Unesco.
- Unesco. (2007). *Climate Change and World Heritage: Report on Predicting and Managing the Impacts of Climate Change on World Heritage and Strategy to Assist States Parties to Implement Appropriate Management Responses*. World Heritage Reports. UNESCO Publishing
- Unesco. (2021). *Draft updated Policy Document on the impacts of climate change on cultural heritage*. UNESCO Publishing.
- Unesco. (16 de October de 2022). *World Heritage Convention*. Obtenido de Climate Change and World Heritage: <https://whc.unesco.org/en/climatechange/>
- Vallejo, S.; Pico, S. (2022). *Propuesta de Actualización al Plan de Desarrollo Naval 2042 Acerca de los Retos Planteados por el Cambio*

- Climático en Consonancia con el Programa de Gobierno 2022-2026, como posible Contribución para Aspectos de Sostenibilidad de la Fuerza. Tesis de ascenso Facultad de Ciencias Navales. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla".*
- Villa, C.; Cáceres, M.; Arrieta, M. (2019). *El uso del patrimonio cultural en la construcción del territorio de Tierra Bomba. Revista de Estudios Sociales, (68): 59-69.*
- Villarreal, H. (2019). *Estrategias de paisaje para la adaptación al cambio climático. Caso Cartagena de Indias. Granada: Universidad de Granada*
- Vyshkvarkova, E.; Sukhonos, O. (2023). *Climate Change Impact on the Cultural Heritage Sites in the European Part of Russia over the past 60 Years. Climate, 11(3): 50.*



## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

**Análisis del clima marítimo de aguas intermedias y su potencial energético en la zona de influencia de los principales puertos del Caribe colombiano***Analysis of wave climate and energy potential of intermediate waters in the marine sphere of influence of the main ports of the Colombian Caribbean*DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.620> Fecha de recepción: 2023-08-17 / Fecha de aceptación: 2023-11-10Claudia Patricia Urbano-Latorre<sup>1</sup>, Claudia Janeth Dagua Paz<sup>2</sup>, Andrés Felipe Camilo Martínez<sup>3</sup>**CITAR COMO:**

**Urbano-Latorre, C. P.; Dagua Paz, C. J.; Camilo Martínez, A. F. (2023).** Análisis del clima marítimo de aguas intermedias y su potencial energético en la zona de influencia de los principales puertos del Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 42(2): 27-46. ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.620>

**RESUMEN**

Este trabajo presenta un estudio del clima de oleaje para el mar Caribe colombiano, entre las coordenadas 8° N y 16° N de latitud y 84° W y 70° W de longitud, y su potencial energético en los puntos de aguas intermedias en el área de influencia marítima en los principales puertos del Caribe colombiano, que sirven de insumo a los intereses marítimos del país. Se realizó con base en análisis de simulaciones de propagación de oleaje de un período de 30 años elaborado en el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, utilizando el modelo Simulating Wave Nearshore, forzado con los vientos del Reanálisis Regional de América del Norte de 1979 a 2010, y validado con información de boyas direccionales de la Dirección General Marítima y de la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica en el mar Caribe. Los resultados muestran cuatro regiones del Caribe colombiano con características similares de altura, período y dirección de ola. La primera es la región insular de San Andrés y Providencia; la segunda, una región sur entre Urabá y Cartagena; una tercera es la región central, entre Barranquilla y Santa Marta; la cuarta corresponde a la parte norte, entre Riohacha y Puerto Bolívar. Los valores más altos de altura de ola se observan en Barranquilla y Santa Marta y los más bajos en Urabá. Adicionalmente, se evaluó la capacidad de energía renovable obtenida por medio del oleaje a partir del espectro de energía potencial para boyas virtuales en los principales puertos. Se encontró que la energía se concentra entre 4 s a 6 s de periodo, y entre 0.5 m y 3 m en alturas de ola, para las boyas de Barranquilla, Santa Marta, Puerto Bolívar y Providencia; siendo Barranquilla el sitio de mayor potencial que se encuentra entre 7 s y 4 m, seguida de Santa Marta entre 6 s y 3.8 m. El potencial energético promedio anual presenta valores altos entre diciembre y marzo; medios, entre junio y agosto; valores bajos, en mayo, y entre septiembre y noviembre, correspondientes a las épocas seca y húmeda. Las condiciones del oleaje encontradas superan el umbral necesario para generar energía con un sistema de energía alternativa tipo Wave Energy Converter, con potenciales de rendimiento aceptables que podrían multiplicarse mediante la instalación de parques energéticos.

**PALABRAS CLAVE:** climatología de olas, modelo SWAN, Caribe colombiano, potencial energético del oleaje.

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0002-2800-368X. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", isla de Manzanillo, barrio El Bosque, Colombia. Correo electrónico: [curbano@dimar.mil.co](mailto:curbano@dimar.mil.co)

<sup>2</sup> Orcid: 0000-0003-2865-6119 Centro de Investigaciones. Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", isla de Manzanillo, barrio El Bosque, Colombia. Correo electrónico: [claudia.dagua@gmail.com](mailto:claudia.dagua@gmail.com)

<sup>3</sup> Orcid: 0009-0000-5507-7580. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", isla de Manzanillo, barrio El Bosque, Colombia. Correo electrónico: [acamilo@dimar.mil.co](mailto:acamilo@dimar.mil.co)



## ABSTRACT

*This paper presents a study of the wave climate of the Colombian Caribbean Sea, between coordinates 8° N and 16° N latitude and 84° W and 70° W longitude, and the energy potential at intermediate water points within the area of the Colombian Caribbean, which serve as inputs for the country's maritime interests. It was carried out based on the analysis of wave propagation simulations for 30 years developed at the Center for Oceanographic and Hydrographic Research of the Caribbean (CIOH), using the SWAN (Simulating WAVes Nearshore) model, forced with the winds of the North American Regional Reanalysis (NARR) from 1979 to 2010 and validated with directional buoy data from the Colombian General Maritime Directorate (Dimar) and the United States National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) in the Caribbean. The results show four regions of similar wave height, period, and directional characteristics in the Colombian Caribbean. The first is the region around the islands of San Andrés and Providencia, and the second is a southern region between Urabá and Cartagena. A third comprises the central region around Barranquilla and Santa Marta, and the fourth, between Riohacha and Puerto Bolívar, occupies the northern part. The highest wave height values are observed for Barranquilla and Santa Marta, while the lowest are at Urabá. Furthermore, we evaluated the renewable wave energy capacity by studying the potential energy spectrum for virtual buoys in the primary ports. We observed that the energy was concentrated between 4 s and 6 s, with wave heights ranging from 0.5 m to 3 m for buoys in Barranquilla, Santa Marta, Puerto Bolívar, and Providencia. Amongst these, Barranquilla displayed the highest potential, with a period of 7 s and a wave height of 4m, followed by Santa Marta with values of 6 s and 3.8 m. The annual pattern of average energy potential revealed high values between December and March, medium values from June to August, and low values in May and between September and November; demonstrating that there is greater energy in the dry seasons and lower energy in the wet seasons. The wave conditions detected surpass the necessary threshold for energy generation via a Wave Energy Converter (WEC) alternative energy system, offering highly promising yield potentials, which could be magnified through the use of energy parks.*

**KEYWORDS:** wave climatology, SWAN model, Colombian Caribbean Sea, wave potential energy

## INTRODUCCIÓN

La riqueza y diversidad de los recursos energéticos marinos de las cuencas del Atlántico y el Pacífico son un privilegio para Colombia, que cuenta con alrededor de 892 118 km<sup>2</sup> de territorio marino en ambas cuencas (Invemar, 2015). Adicionalmente, debido la adición de Colombia a diferentes convenios marítimos internacionales, es necesario adelantar los estudios marítimos que permitan conocer las aguas territoriales con fines como la navegación, actividades de intercambio de mercancías, transporte de pasajeros, diseño del artefactos navales y fines turísticos entre otros (Dimar, 2023).

La Dirección General Marítima (Dimar), como autoridad marítima nacional, ha abanderado estudios oceanográficos, meteorológicos e hidrográficos que permiten conocer las condiciones de los mares y costas de la jurisdicción colombiana, a través de sus centros de investigaciones científicas marinas ubicados en el Caribe y Pacífico colombiano (González, 1987;

Andrade, 1992; Molares, Vanegas, Bustamante y Andrade, 2004; Bastidas, 2011; Grisales, Salgado y Molares, 2014; Monroy y Zambrano, 2017; Casanova, Zambrano, Latandret, Guerrero, Suárez y Albán, 2019). Para este fin se han realizado diferentes campañas oceanográficas y desarrollado proyectos de investigación que han contribuido al conocimiento y entendimiento de la dinámica marítima de las aguas territoriales de Colombia (Rueda, 2017; Dagua, Torres y Monroy, 2018; Moreno y Báez, 2021).

En el año 2006 la Dimar inició la implementación de un sistema de monitoreo en campo de las condiciones meteorológicas y oceanográficas de las costas colombianas, con el proyecto denominado Red de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina (RedMpomm), el cual cuenta con estaciones meteorológicas, mareógrafos y boyas de oleaje para las costas del Pacífico y del Caribe colombianos. Este sistema ofrece soporte a las actividades marítimas y proporciona información de las condiciones *in situ* en tiempo presente.

Adicional a la información recopilada por la Dimar, diferentes autores han centrado su atención en el oleaje para fines de construcción, ampliación y adecuación de estructuras portuarias, que permitan mejorar el flujo de transporte marítimo y fluvial necesarias para el engranaje logístico, empleando datos visuales e instrumentales (Agudelo, Restrepo, Molaes, Torres y Osorio, 2005), bases de datos satelitales (Thomas, Nicolae y Posada, 2012), así como modelación numérica y datos de reanálisis (Mesa-García, 2009; Osorio, Mesa, Bernal y Montoya, 2009; Vega, Álvarez, Restrepo, Ortiz y Otero, 2020; Orejarena, Restrepo, Correa y Orfila, 2022).

De igual forma, desde hace más de una década, en Colombia se han realizado estudios puntuales en los cuales se ha evaluado el potencial energético del oleaje. Este es el caso de Isla Fuerte, localizado frente a las costas de Córdoba (Ortega, Osorio y Agudelo, 2013), el norte de la península de La Guajira y en Bocas de Ceniza en Barranquilla (Torres y Andrade, 2006). Así como para todo el mar Caribe, con especial interés en la zona del *Low Level Jet* del Caribe (Appendini, Urbano, Figueroa, Dagua, Torres-Freyermuth, Salles, 2015), identificando que, desde el golfo de México hasta el mar Caribe, en el litoral colombiano se encuentra las zonas más energéticas.

La energía oceánica tiene un papel clave en el desarrollo sostenible de las regiones costeras; ya que al integrarse a las redes de energía local logra suministrar, además de electricidad, servicios como agua (a partir de la desalinización del agua de mar) y alimentar el transporte eléctrico (Shadman *et al.*, 2023). Colombia está avanzando en una transición energética que lleve al país hacia una economía verde (DNP, 2023), respaldada por el Plan Nacional del Desarrollo (PND) 2023-2026 y el Consejo Nacional de Política Económica y Social Bioceánico (Conpes 3990) (DNP, 2020), la cual contribuye al desarrollo sostenible del país, mediante el aprovechamiento integral y sostenible de su ubicación estratégica, condiciones oceánicas y recursos naturales. Diversificar la matriz energética en el país requiere de un amplio conocimiento del recurso. Por tal motivo, y con el fin de estudiar el clima marítimo del Caribe colombiano y conocer su potencial energético,

el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) en el año 2011 generó series de tiempo sintéticas de oleaje continuas, utilizando un modelo numérico espectral de oleaje de tercera generación.

El *hindcast* implementado hizo uso del modelo SWAN (Simulating Wave Nearshore) (Booji *et al.*, 2004), el cual está basado en la conservación de acción de energía de ondas y los vientos del proyecto Reanálisis Regional de América del Norte (NARR) (Messinger, DiMego, Kalnay, Mitchell, Shafran y Ebisunaki 2006), desde 1979 hasta 2010. El modelo fue calibrado y validado a partir de los datos disponibles de la RedMpomm y se verificó que el modelo reprodujera de manera adecuada las mediciones (Dagua, Lonin, Urbano y Orfila, 2013). En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo realizar la caracterización del régimen de oleaje del Caribe colombiano a partir de la información generada y calcular su potencial energético. El trabajo se ha dividido en clima marítimo y el potencial de energía; el primero abarca las aguas jurisdiccionales de Colombia en el mar Caribe y el segundo corresponde a los puntos específicos en cercanías de las capitánías.

## ÁREA DE ESTUDIO

El mar Caribe inicia en la península de Yucatán y abarca hasta Panamá, limita al este con las Antillas Menores y al norte con las Antillas Mayores, terminando en la isla de Cuba. El viento predominante durante casi todo el año proviene del este (conocidos como vientos Alisios) (Vernette, 1985; Nystuen y Andrade, 1993) y es frecuentemente afectado por ondas tropicales, principalmente entre mayo y noviembre (Sosa y Hernández, 2002). Además, está afectado por fenómenos meteorológicos de escala global como la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación del Sur (Poveda, 1998; Amador, 2008).

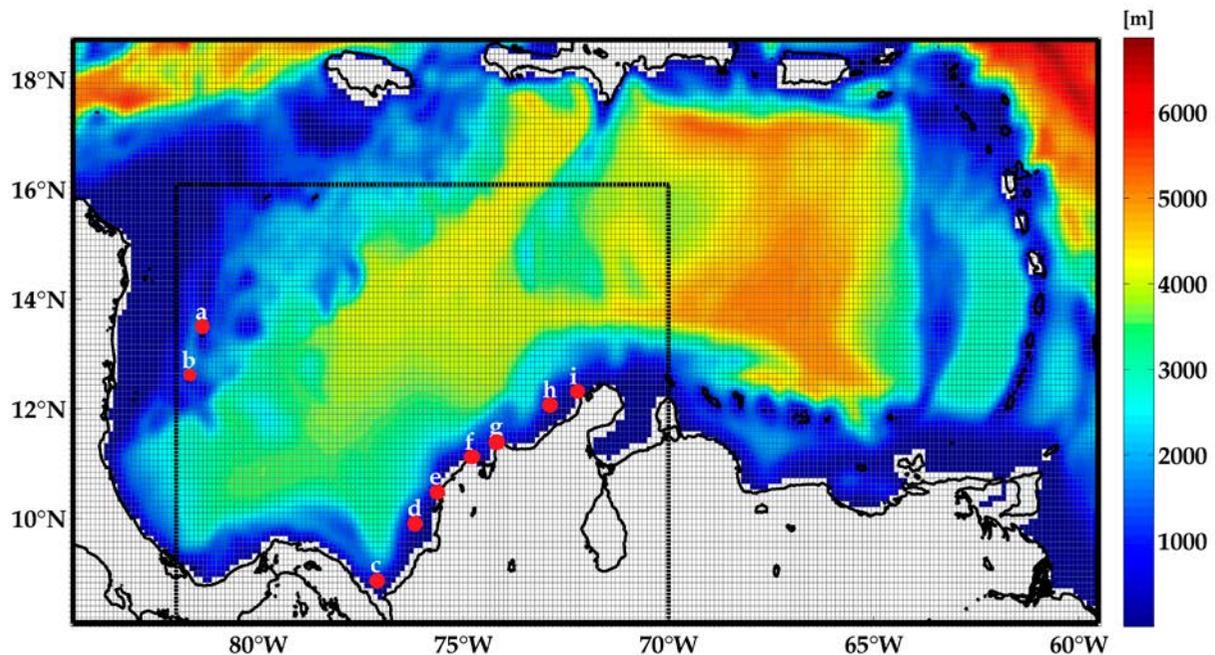
Se identifican dos épocas climáticas, una época seca entre diciembre y febrero, con valores más altos de altura de ola, y la época húmeda, entre septiembre y noviembre, donde disminuye la altura de ola. Adicionalmente, se tiene la presencia del Veranillo de San Juan (Bernal, Poveda, Roldán, Andrade, 2006) o de transición, entre junio y agosto, con un pico de aumento de altura de ola en julio, que va disminuyendo hasta debilitarse en la época húmeda. El área de

estudio se encuentra enmarcada dentro de aguas jurisdiccionales de Colombia en el mar Caribe, para las cuales se seleccionó el punto de aguas intermedias que varían entre 125 m y 250 m, más cercano a los principales puertos de la costa Caribe.

## METODOLOGÍA

Para establecer los parámetros característicos del oleaje y su afectación en la región es indispensable conocer su evolución espacio-temporal con series de tiempo suficientemente largas, para lo cual se tomó la base de datos de 30 años de simulación de oleaje del CIOH. Su dominio

en el mar Caribe está entre latitudes 8° N y 18.7° N, y las longitudes 84.5° W y 59.4° W (Fig. 1), con una resolución espacial de 12 km y temporal cada hora. Las variables de salida corresponden a los parámetros integrales del oleaje en cada nodo: altura significativa ( $H_s$ ), período pico ( $T_p$ ) y dirección predominante ( $Dir$ ). Los datos fueron validados y calibrados con información medida de boyas de la Dimar y la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA), dado que los datos obtenidos numéricamente presentan desviaciones con respecto a los datos instrumentales (Dagua *et al.*, 2013), siendo así necesario ajustar las parametrizaciones del modelo.



**Figura 1.** Dominio computacional de la modelación de oleaje. Área de estudio de clima marítimo (--) con la localización (puntos rojos) de las boyas virtuales: Providencia (a), San Andrés Isla (b), Urabá (c), Coveñas (d), Cartagena (e), Barranquilla (f), Santa Marta (g), Riohacha (h) y Puerto Bolívar (i).

Los datos usados para el forzamiento del modelo SWAN fueron: batimetría de ETOPO1 (Amante y Eakins, 2009) y vientos del reanálisis NARR (1979-2010), obtenidos del modelo Eta de la *National Center of Environmental Prediction (NCEP)*; se empleó el viento con las componentes zonal y meridional a 10 m de altura, con un paso de tiempo cada tres horas y una resolución espacial de 32 km.

Para el análisis del clima marítimo se seleccionó un subdominio (Fig. 1, línea punteada) entre latitudes 8° N y 16° N, y longitudes 84° W y 70° W, asociado a las aguas jurisdiccionales de Colombia y se seleccionaron nueve nodos como boyas virtuales, ubicadas en un radio de 80 km de los principales puertos colombianos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Coordenadas de las boyas virtuales del modelo SWAN.

ID.	Región	Latitud (° N)	Longitud (° W)	Profundidad (m)
a	Providencia	13°31.98'	81° 19.98'	125
b	San Andrés	12° 38.82'	81° 40.38'	500
c	Urabá	08° 55.44'	77° 03.60'	250
d	Coveñas	09° 56.76'	76° 10.14'	250
e	Cartagena	10° 31.38'	75° 37.68'	250
f	Barranquilla	11° 09.66'	74° 45.60'	125
g	Santa Marta	11° 26.58'	74° 10.08'	250
h	Riohacha	12° 06.30'	72° 52.26'	250
i	Puerto Bolívar	12° 21.06'	72° 13.08'	125

### Clima de oleaje

Las condiciones medias y extremas de las variables del estado de mar fueron calculadas mediante un análisis estadístico de los parámetros integrales para la región de estudio. Las condiciones medias se obtuvieron con el promedio temporal de cada serie de Hs y Tp para todos los nodos de la región de estudio. La estimación de la probabilidad de la función de densidad conjunta se realizó mediante histogramas de altura y período en direcciones específicas, proporcionando información mensual sobre los valores de propagación en cada período de oleaje en una dirección determinada.

Para el régimen extremal, aunque no existe un único criterio que permita determinar las condiciones del oleaje; se ha observado que las distribuciones que consideran dos o tres parámetros son más adecuadas (Ruiz *et al.*, 2009). La distribución usada corresponde al método de Picos sobre el Umbral (POT: *Peaks Over Threshold*), de acuerdo con la metodología de Cañelas, Orfila, Méndez, Gómez-Pujol y Tintoré (2007). En los sitios asociados a las boyas virtuales cercanas a las capitánías de puerto se elaboraron rosas de oleaje con el fin de proporcionar la dirección predominante y la altura de ola asociada.

### Cálculo del potencial de energía

Para realizar el cálculo del potencial de la energía utilizando los parámetros integrales del oleaje se realizó un ajuste sobre el periodo (Booji *et al.*, 2004) modelado en el análisis histórico de los 30 años de oleaje, el cual corresponde a:

$$T_{m,p-1,p} = 2\pi \frac{\iint \omega^{p-1} E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint \omega^p E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde,

$$p = 0.5 \text{ y } E = (\omega, \theta)$$

es la varianza de la densidad de energía espectral.

$$\omega$$

es la frecuencia absoluta determinada por el cambio de la relación de dispersión, teniendo en cuenta el efecto de Doppler y la dirección  $\theta$  de la ola.

Dado que el flujo de energía  $P$  está en función de la altura significativa de la ola (Vicinanza, Constetabile y Ferrante, 2013; Akpinar y Kömürçü, 2012; Rusu y Guedes, 2012; Aydogan, Ayat y Yüksel, 2013), el significado del período energía está asociado a una onda sinusoidal con la misma energía del estado del mar. Por esta razón, el período de energía es el parámetro de periodo usado para la estimación de energía de las olas en aguas profundas:

$$P = \frac{\rho g^2 H_s^2 T_e}{64\pi} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde,

$$\rho$$

es la densidad del agua de mar.

Ahora,  $T_e$  en el modelo SWAN (Booji *et al.*, 2004) corresponde a otra definición del período de ola, en el sentido del factor de ponderación de la energía espectral en el espacio de fase:

$$RT_{m-10} = 2\pi \frac{\iint \sigma^{-1} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\iint E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde,

$E = (\sigma, \theta)$	es la densidad de energía espectral.
$\sigma$	es la frecuencia relativa de la onda y la dirección $\theta$ de la ola.

Basados en la metodología descrita por (Cahill y Lewis, 2014), los cuales estiman la relación entre  $T_e$  y el período de cruce por cero  $T_{02}$  para un espectro Bretschneider y JONSWAP, este último representa de manera más adecuada el oleaje en el Caribe con una constante  $\alpha$  (Torres y Lonin, 2007).

$$T_e = \alpha T_{02} \quad (\text{Ec.4})$$

De acuerdo con los momentos espectrales la ecuación 4 se puede escribir como:

$$\frac{m_{-1}}{m_0} = \alpha \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (\text{Ec.5})$$

Reorganizando esta ecuación en términos de  $H_{m0}$ , frecuencia pico  $f_p$  y el parámetro de forma pico, haciendo las respectivas sustituciones y simplificaciones, se permite reescribir el término  $\alpha$  en función de  $\gamma$ :

$$\alpha = \left(\frac{4.2+\gamma}{5+\gamma}\right) \cdot \left(\frac{11+\gamma}{5+\gamma}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec.6})$$

Ahora, los valores de la constante pueden variar de acuerdo con el parámetro de ajuste del pico del espectro  $\gamma$ , como se sintetiza en la Tabla 2.

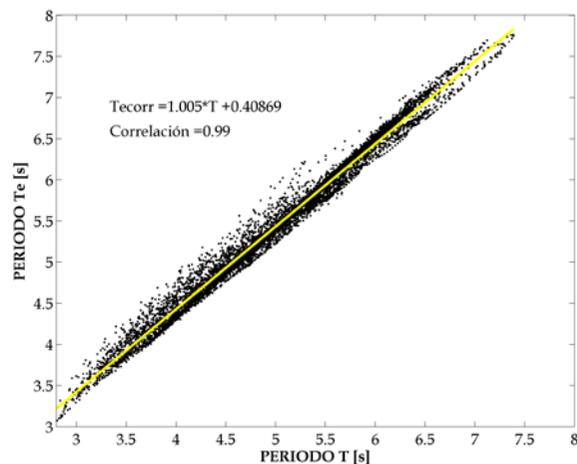
**Tabla 2.** Relación del período de la ola para el espectro JONSWAP (Cahill y Lewis, 2014).

$\alpha$	$\gamma$
1	1.22
2	1.20
3.3	1.18
5	1.16
7	1.14
10	1.12

La sensibilidad de  $\alpha$  a la forma del espectro indica que la relación es transitoria y que los valores pueden fluctuar significativamente en un sitio, dependiendo de las condiciones y la composición de los espectros de onda; por lo tanto, no se puede generalizar la constante si no es corroborada con información local y una serie de datos suficientemente larga.

Para realizar el ajuste entre  $T$  y  $T_e$  se calculó la correlación entre las dos variables. Para este fin se simuló un año de propagación de oleaje, donde el modelo se configuró para que calcule las dos variables. Se supone que en un lapso de un año la correlación entre estas dos variables es estadísticamente representativa para las condiciones climatológicas del Caribe.

Del año simulado se extrajo la serie de tiempo para un nodo ubicado al este de Bocas de Ceniza, siendo esta una zona de fuerte oleaje (-74.76° W y 11.16° N) y se hizo la respectiva correlación (Fig. 2) entre las variables  $T$  y  $T_e$ .



**Figura 2.** Correlación entre las variables  $T$  y  $T_e$  modeladas

La correlación es de 0.99; sin embargo, se realizó el ajuste para mediante la siguiente ecuación, obtenida de la recta de mejor ajuste, donde es el período de energía calculado:

$$T_{ec} = 1.005 * T + 0.4087 \quad (\text{Ec.7})$$

Se reemplazó y calculó el período  $T_{ec}$ , este ajuste se aplicó al periodo de energía para las nueve boyas virtuales y se reemplazó en la ecuación 2 para obtener el potencial de energía. El valor de la constante  $\alpha$  para el ajuste de los períodos está subestimado de los calculados en la Tabla 2. Esto se debe a que la ecuación de período para realizar los cálculos por Cahill y Lewis (2014) es el período de cruce por cero (0), diferente al promedio de periodo absoluto usado para este caso en el modelo SWAN.

### Sistemas convertidores de energía del oleaje

Se utilizaron los puntos de la Tabla 1 para la elección de un dispositivo que permita captar la energía undimotriz del Caribe colombiano en la zona de influencia de los puertos. Debido a que las profundidades oscilan entre 125 m y 250 m, la tecnología que puede utilizarse es la denominada *offshore* (sistemas montados en profundidades superiores a 40 m) (Rodríguez-Abal, 2019; Pozos,

2019) o explorar una combinación con tecnología nearshore (sistemas montados en profundidades entre 20 m y 30 m).

A continuación, se presentan algunas opciones de dispositivos de extracción de energía undimotriz (WEC: *wave energy converter*) que podrían ser utilizados para aprovechar el recurso, teniendo en cuenta su matriz de potencia (diagrama de información energética bajo ciertas condiciones de oleaje). Esto permite identificar los valores máximos de potencia generados por un instrumento y conocer su óptimo funcionamiento:

- Dispositivo Pelamis: es versátil y puede adaptarse a una variedad de condiciones de profundidad (sistema de captación de energía por oleaje tipo *offshore*). Está formado por una estructura cilíndrica, dividida en varias secciones que se ubica de forma semisumergida; su forma le permite contar con dos grados de libertad, brindándole movilidad de manera horizontal y vertical. El movimiento relativo entre las partes articuladas acciona un sistema hidráulico que alimenta un depósito a presión que, a su vez, actúa sobre un generador eléctrico y permite la captación de energía (Rodríguez-Abal, 2019; Vergaray, 2008). La orientación y forma permiten que la generación de energía se maximice cuando el oleaje es bajo. La Tabla 3 presenta la matriz de potencia propia del equipo.

**Tabla 3.** Matriz de potencia Pelamis. Fuente: Rodríguez-Abal (2019).

		Periodo energético (s)																	
		5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	
Altura de ola significativa (m)	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1	-	22	29	34	37	38	38	37	35	32	39	26	23	21	-	-	-	
	1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33	
	2	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59	
	2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92	
	3	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132	
	3.5	-	270	254	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180	
	4	-	-	465	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213	
	4.5	-	-	544	635	642	648	628	590	582	528	473	432	382	356	338	300	266	
	5	-	-	-	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328	
	5.5	-	-	-	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355	
	6	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415	
	6.5	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481	
	7	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
	7.5	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
	8	-	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

Dispositivo OSWEC (sistema de captación de energía por oleaje tipo nearshore). Va anclado al fondo marino, por tanto, sus profundidades no superan los 30 m y se ubica a un 1 km de distancia (Morales, 2016). El sistema consta de una paleta principal que recibe el impacto por el oleaje, sus dimensiones dependen de la batimetría de la zona donde se instala el equipo, la paleta se monta

sobre un pivote lo que le permite un movimiento tipo péndulo, generado por la interacción con las olas, capturando la energía transportada para accionar un conjunto de pistones que entregan agua a presión a la unidad transformadora de energía. La Tabla 4 presenta la matriz de potencia propia del dispositivo.

**Tabla 4.** Matriz de potencia OSWEC (Equipo OYSTER 800). Fuente: Rodríguez-Abal (2019).

		Periodo energético (s)												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Altura de ola significativa (m)	1	27	39	57	76	87	104	109	100	101	92	94	94	87
	1.5	63	92	126	168	201	213	201	239	207	198	183	150	154
	2	75	160	233	301	380	408	383	399	239	365	319	265	259
	2.5	-	254	378	467	568	623	616	601	519	523	481	390	428
	3	-	368	503	693	799	824	876	792	759	704	546	579	554
	3.5	-	-	655	934	1032	1085	1241	1075	973	925	862	747	688
	4	-	-	843	1093	1352	1427	1430	1390	1158	1224	1139	1138	863
	4.5	-	-	1219	1408	1644	1677	1807	1641	1662	1562	1404	1370	1191
	5	-	-	1247	1670	1965	1952	2097	2002	1833	1798	1814	1459	1442
	5.5	-	-	-	1979	2339	2308	2115	2389	2120	2012	1940	1518	1587
	6	-	-	-	2406	2713	2776	2344	2705	2451	2396	2182	2414	2133
	6.5	-	-	-	2778	3044	3001	2989	3211	2986	2896	2716	2455	2309
	7	-	-	-	2871	3119	3131	3127	3176	3332	2877	2925	2676	2658

De acuerdo con lo anterior, para conocer el valor de energía que se puede generar con los sistemas WEC (Wave Energy Converter) es necesario definir correctamente los valores de periodo de energía y altura significativa de la ola para utilizar la matriz de potencia del instrumento. La matriz de potencia define el valor umbral para activar el sistema y, a su vez, entrega la potencia efectiva, dependiendo de las características del oleaje.

El rendimiento del dispositivo se mide mediante el factor de planta y corresponde a la razón entre la potencia efectiva y la potencia nominal del equipo, con esta relación es posible conocer el valor porcentual de energía que entrega un equipo WEC.

$$\text{Factor potencia} = \frac{\text{potencia efectiva generada}}{\text{potencia nominal}} \times 100 \quad (\text{Ec.8})$$

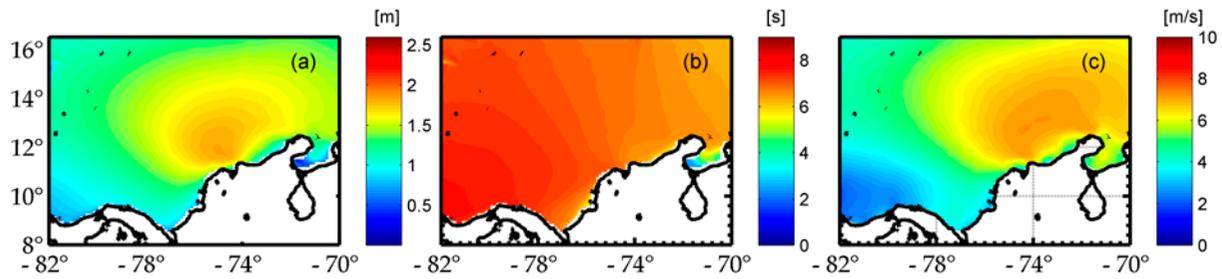
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del cálculo del régimen medio de oleaje de aguas profundas para el mar Caribe colombiano (Fig. 3a) se evidencia cómo el oleaje está directamente influenciado por el viento (Fig. 3c), donde el patrón de los máximos del oleaje y el

viento se concentran alrededor del meridiano 75° W con 12° N, al norte de las costas colombianas, como resultado de los vientos del *Low Level Jet* del Caribe, de acuerdo con lo presentado por otros autores (Appendini *et al.*, 2015; Wang y Lee, 2007). Los valores máximos del promedio de Hs oscilan alrededor de los 2 m, con velocidades del viento de 8 m/s.

El comportamiento del periodo pico (Fig. 3b) se caracteriza por un incremento de este a oeste asociado al *fetch*, oscilando entre 6 s y 8 s. A pesar de que los vientos sobre el Caribe no son uniformes (Fig. 3c), las olas de mar de viento (sea) aumentan su período dependiendo del *fetch*.

De la Figura 3c los valores de vientos moderados de U = 4 m/s (fuera del máximo de La Guajira) fueron usados en la fórmula de Van Rijn (1994). El período pico se define como  $T_p = 0.286F^{*0.33}U/g$ , donde g es la gravedad y F\* es el *fetch* adimensional ( $=gF/U^2$ ). De esta forma se obtiene que para alcanzar los períodos pico de 8 s (Fig. 3b) se requiere un *fetch* de 546 km. Esto coincide con la distancia entre los vientos máximos (superiores a 4 m/s) y el istmo de Panamá. Es importante mencionar que la altura



**Figura 3.** Valores medios calculados con la base de datos de 30 años de datos de reanálisis del CIOH: altura significativa de la ola **(a)**, periodo pico **(b)** y velocidad del viento del reanálisis NARR.

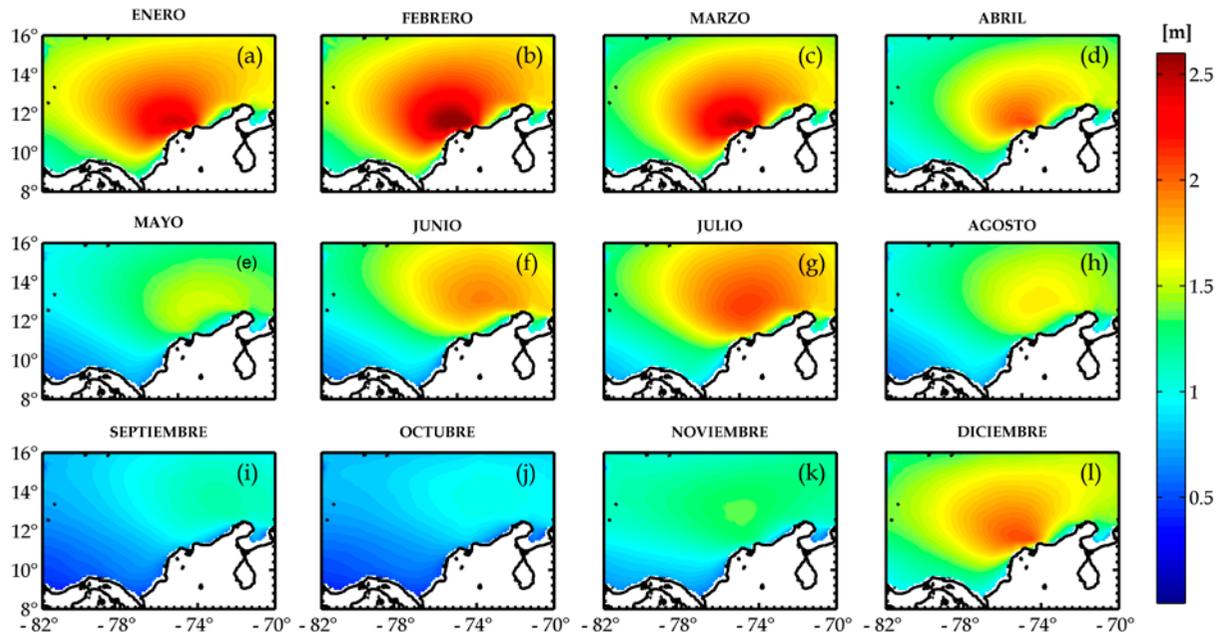
de ola también depende del *fetch*, pero para el área de máximo de viento la distribución de olas de mar de viento depende de su intensidad de mayor medida (figuras 3a y 3c).

### Clima de oleaje en el Caribe colombiano

El régimen medio permite caracterizar el comportamiento del oleaje que en promedio afectará a la costa. En la Figura 4 se muestra el comportamiento medio de la altura de ola significativa para cada mes del año. Esta información es indispensable para estudios de obras marítimas, teniendo en cuenta que para

un sitio cercano a la costa es necesario propagar el oleaje de aguas profundas hasta el punto de interés.

De la Figura 4 se puede observar que el comportamiento del oleaje en la zona de estudio y a lo largo del año está fuertemente influenciado por el *Low Level Jet* del caribe y la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Así, durante los meses de diciembre a marzo, cuando se presenta la época seca, la ZCIT se encuentra más hacia el sur, los vientos Alisios son más intensos y la altura de la ola es mayor comparada con el resto del año.



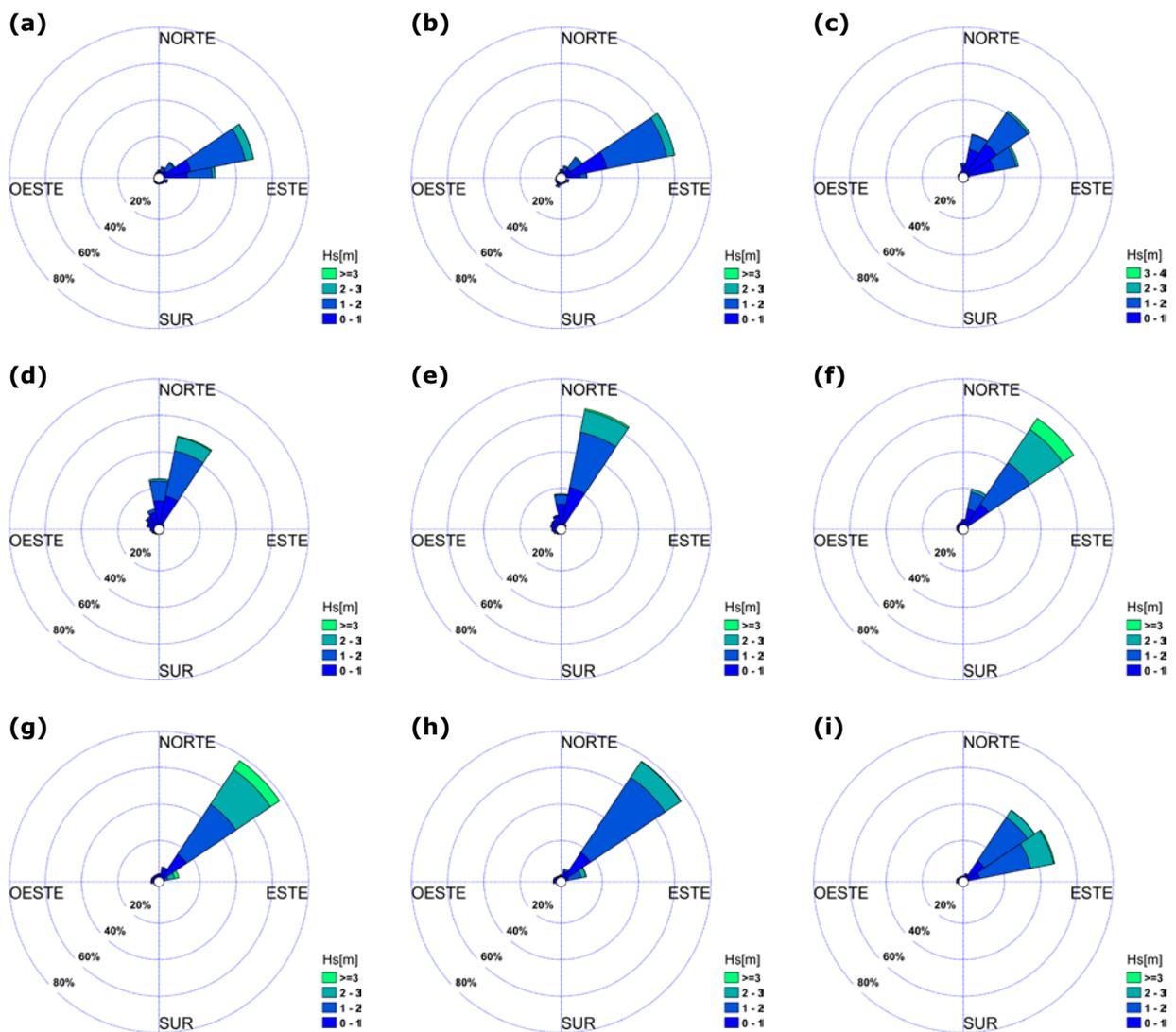
**Figura 4.** Medias mensuales de altura de ola significativa, con base en la información de reanálisis generado en el CIOH.

Caso contrario ocurre durante los meses de septiembre a noviembre, cuando se presenta la época húmeda y la ZCIT está más al norte (Pujos y Mesa, 1988; Mesa, Poveda y Carvajal, 1997; Bernal *et al.*, 2006). Igualmente, la Figura 4g (julio) evidencia la influencia del veranillo de San Juan, con el incremento de la altura de la ola respecto a los meses de junio y agosto (figuras 4f y 4h).

Estos resultados concuerdan con los resultados presentados por Mesa-García (2009), quien

expone que, además de la variabilidad espacial, el oleaje en la región posee una variación temporal que se manifiesta en la variabilidad en la magnitud de la altura significativa de ola en los distintos períodos del año.

Con el fin de conocer detalladamente el comportamiento del oleaje y su dirección predominante en cercanías a los principales puertos del país, se generaron las rosas de oleaje en los puntos de ubicación de las boyas virtuales indicadas en la Tabla 1 (Fig. 5).



**Figura 5.** Rosas de oleaje para los nodos de estudio, con altura de ola asociada (el color indica la magnitud de Hs. Providencia **(a)**, San Andrés **(b)**, Urabá **(c)**, Coveñas **(d)**, Cartagena **(e)**, Barranquilla **(f)**, Santa Marta **(g)**, Riohacha **(h)**, Puerto Bolívar **(i)**.

Para todos los casos estudiados, se observa que predominan las direcciones de oleaje en el cuadrante noreste (NE). Este comportamiento concuerda con la climatología de vientos en el Caribe descrita en (Verette, 1985; Nystuen y Andrade, 1993), confirmando una clara influencia de los vientos Alisios en la región.

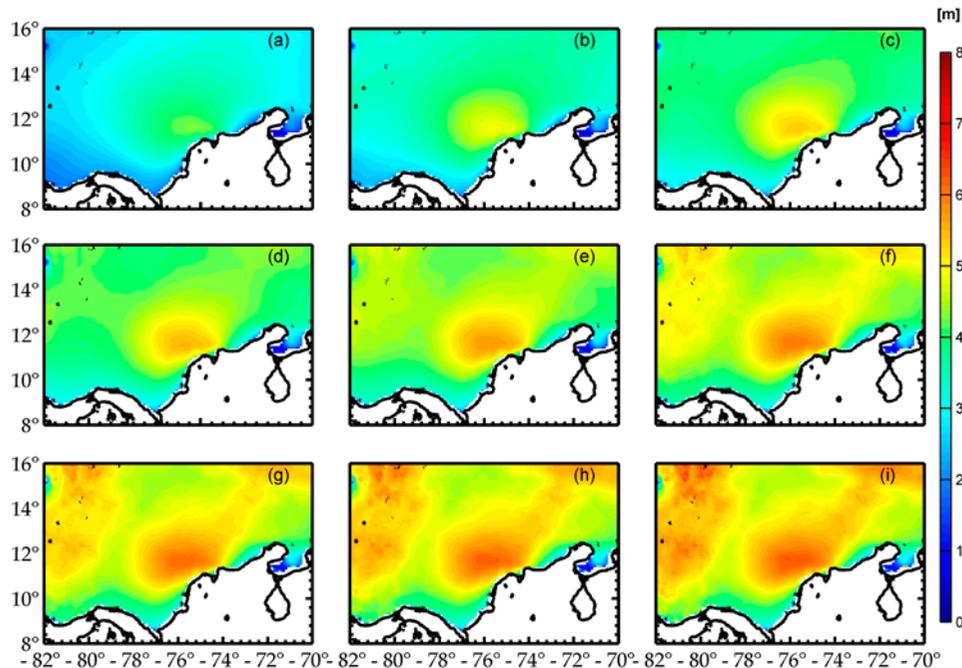
Los parámetros básicos de cada boya virtual se presentan en la Tabla 5, la cual muestra la

dirección predominante y el tiempo que presenta en términos de porcentaje, el valor de altura de ola significativa que no es superado el 50 % y 99 % del tiempo en cada caso. Se observa que el valor máximo de altura de ola está en Barranquilla y el menor se presenta en Urabá, tanto para el 50 %, como para el 99 % del tiempo, lo cual se corrobora tanto en el régimen medio calculado (Fig. 3) como en las medias mensuales (Fig. 4).

**Tabla 5.** Descripción de la dirección predominante y altura de ola para cada boya virtual.

Boya virtual	Dirección	Probabilidad-Dirección (%)	Hs50%	Hs99%
Providencia	NEE	50.60	1.275	2.613
San Andrés	NEE	61.24	1.174	2.542
Urabá	NE	41.45	1.047	2.290
Coveñas	NNE	49.63	1.311	3.044
Cartagena	NNE	64.82	1.338	3.104
Barranquilla	NE	70.69	1.777	3.953
Santa Marta	NE	77.32	1.700	3.770
Riohacha	NE	76.92	1.419	2.754
Pto. Bolívar	NEE	48.77	1.677	3.067

En la Figura 6 se presentan los resultados del régimen extremal, con diferentes periodos de retorno.



**Figura 6.** Ajuste del régimen extremal para aguas profundas de la zona de estudio. Altura de ola del umbral de cálculo al 99 % (a), periodo de retorno de 1 año (b), periodo de retorno de 3 años (c), periodo de retorno de 5 años (d), periodo de retorno de 10 años (e), periodo de retorno de 20 años (f), periodo de retorno de 30 años (g), periodo de retorno de 50 años (h), periodo de retorno de 100 años (i).

El oleaje asociado a eventos extremos tiene alturas de ola menores para la región de Urabá en la zona más austral del mar Caribe, así como en Coveñas, que, dada su posición, se encontrarían menos expuestos de los temporales más fuertes provenientes del este. Las regiones de Providencia y San Andrés presentan valores altos de oleaje en los diferentes períodos de retorno, pero los valores de altura de ola extremal más altos se presentan en aguas profundas de las regiones de Barranquilla y Santa Marta, con alturas de ola asociadas de alrededor de 6 m.

Aunque los resultados expuestos en este estudio concuerdan con los valores medios de altura y dirección predominante expuestos por otros autores (Agudelo *et al.*, 2005; Osorio *et al.*, 2009; Thomas, Nicolae, Durand, Posada, García y Andrade 2011), los valores extremos difieren para diferentes períodos de retorno y regiones. Esto se atribuye a que las bases de datos utilizadas son diferentes (datos de buques en ruta o de altimetría satelital), así como las metodologías empleadas para su cálculo (máximo anual, GEV, POT).

En este sentido, está claro que la estadística del oleaje (mediante el reanálisis de vientos) debe reflejar mejor estos valores en comparación con las observaciones de barcos en ruta: (i) debido a los errores de observación visual y experiencia subjetiva; (ii) por presentarse en distintas localidades con la necesidad de agrupar los datos en una malla; (iii) por evitar adversos fenómenos severos, como ciclones tropicales, en las rutas de embarcaciones.

### **Potencial de energía del oleaje para puntos cercanos a las capitanías**

Usando las expresiones para el cálculo de la potencia descritas en la metodología, se obtuvieron gráficas combinadas de la dispersión con los diagramas de energía en términos Hs y Te (Fig. 7). Estas describen el potencial de energía promedio de un año, para intervalos de 0.25 m y 0.25 s, respectivamente.

De acuerdo con estos resultados, el potencial de energía se concentra entre 4 s y 6 s y entre 0.5 m y 3 m, similar a lo reportado por Appendini *et al.* (2015) para las boyas de Barranquilla,

Puerto Bolívar y Providencia. El potencial más alto se observa en la boya de Barranquilla, entre 7 s y 4 m; seguido de Santa Marta, entre 6 s y 3.8 m, esto teniendo en cuenta que las líneas de potencia varían de acuerdo con el período y la altura de ola.

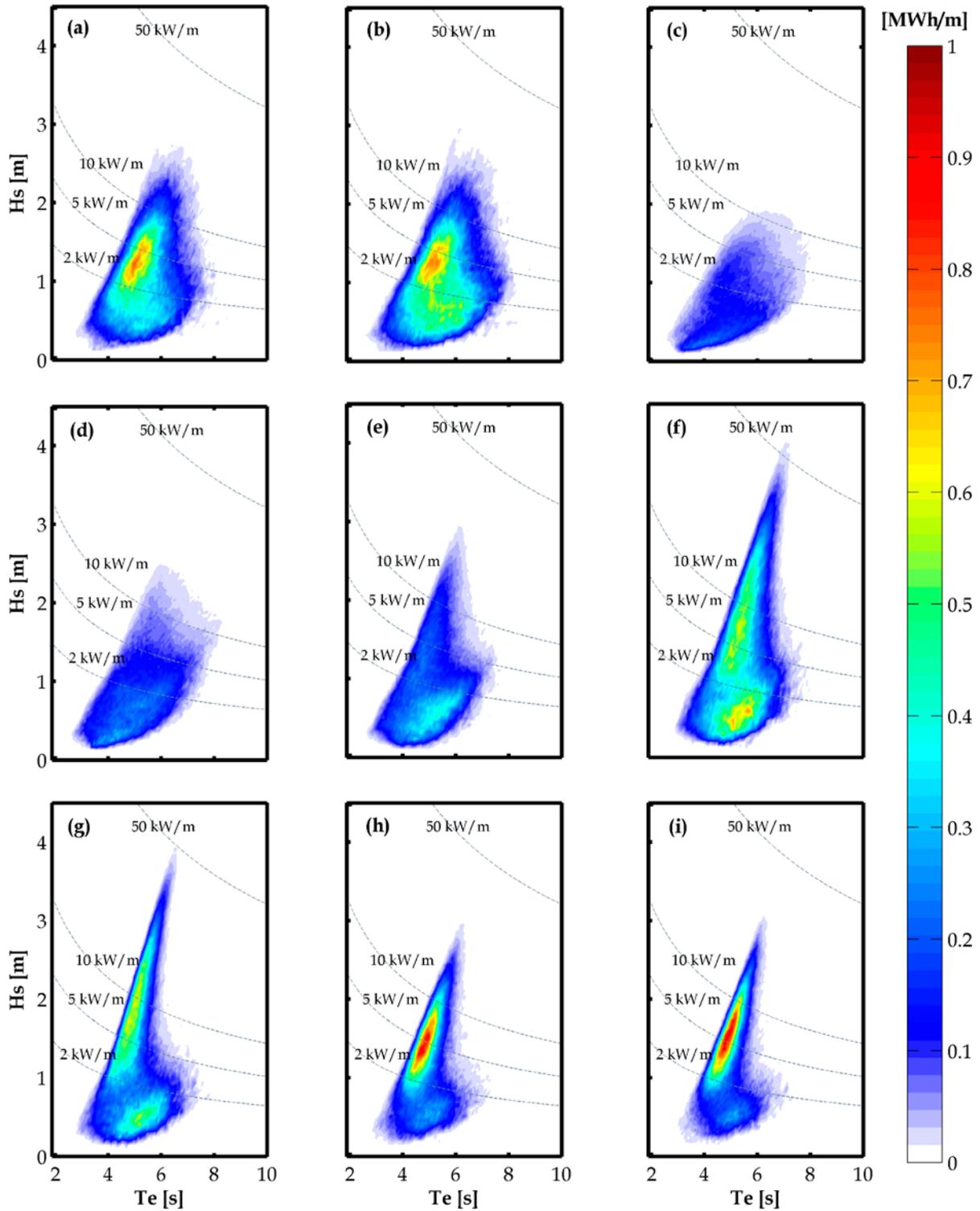
Cabe anotar que los valores de frecuencia son bajos, teniendo en cuenta que la barra de colores establece la proporción tiempo (en horas) que se dispone o genera cierta cantidad de megavatios, calculado para un año medio. Por lo cual, si bien el potencial máximo de Barranquilla está alrededor de 50 kW/m, este solo generará por año menos de 0.1 MWh. Finalmente, para establecer las condiciones más favorables del flujo de energía se calculó la variabilidad estacional del potencial, con el promedio anual para cada boya virtual (Fig. 8).

De manera general, se observa en el ciclo anual valores altos de potencial de energía de diciembre a marzo, y los valores más bajos en mayo, y entre septiembre a noviembre, meses que corresponden a las épocas seca y húmeda, respectivamente (Bernal *et al.*, 2006). Pero adicionalmente, se tiene un incremento en julio, relacionado con el veranillo de San Juan o de transición (Andrade y Barton, 2000; Curtis y Gamble, 2007).

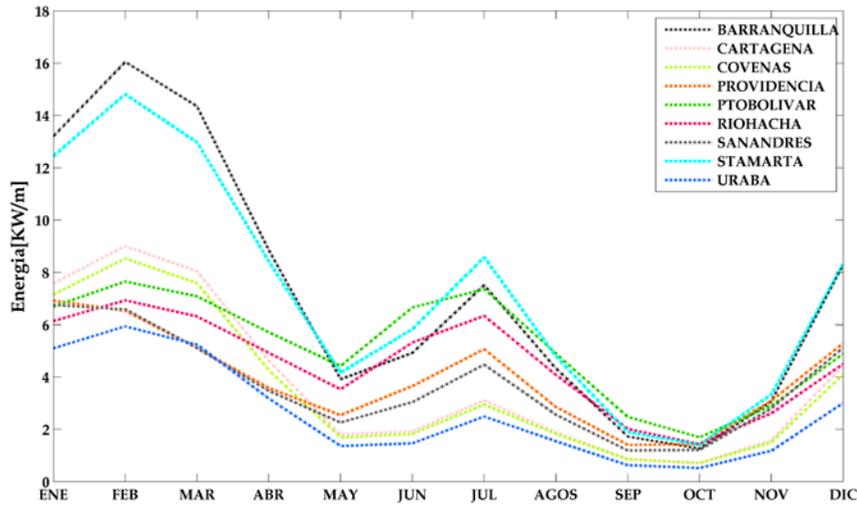
Al igual que en los diagramas de energía potencial, las boyas virtuales de Barranquilla y Santa Marta tienen los valores más altos con respecto a las demás boyas. Esto se explica debido a su ubicación geográfica cercana al *Low Level Jet* del Caribe (Appendini *et al.*, 2015; Ruiz y Bernal, 2009; Bernal, Ruiz y Beier, 2010; Andrade y Barton, 2005). Este afecta al oleaje tal y como se registra en el patrón del valor medio de altura significativa de la ola (Fig. 3) y se revalida en su variabilidad mensual (Fig. 4).

### **Potencial efectivo calculado para los puntos cercanos a las capitanías**

Según el estudio, los puntos con un mayor potencial se ubican en Barranquilla y Santa Marta, donde se podrían obtener entre 55 Kw/m y 43 Kw/m, respectivamente. Sin embargo, este no es el potencial real que se alcanza con los sistemas WEC.



**Figura 7.** Diagramas de energía y dispersión en términos de  $H_s$  y  $T_e$  para las boyas virtuales de: Providencia **(a)**, San Andrés **(b)**, Urabá **(c)**, Coveñas **(d)**, Cartagena **(e)**, Barranquilla **(f)**, Santa Marta **(g)**, Riohacha **(h)**, Puerto Bolívar **(i)**. La línea punteada indica el potencial de energía (por metro de frente de ola) y los colores la potencia por unidad de tiempo.



**Figura 8.** Promedio anual de potencial de energía para las boyas virtuales de Providencia, San Andrés, Urabá, Coveñas, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Riohacha y Puerto Bolívar.

Considerando las características de oleaje de la Figura 7, se pueden definir intervalos de Hs y periodos de energía que se mantienen a lo largo del año. Con esta información se calculó la potencia real (potencia efectiva) generada con los instrumentos Pelamis y Oyster, antes descritos, para cada una de las zonas de estudio. Aparte del potencial real es posible generar el factor de planta y definir los porcentajes en que se aprovecharía

cada instrumento (Ecu. 8). Las tablas 6, 7, 8 y 9 presentan el rendimiento de los instrumentos Pelamis y Oyster para las zonas de Barranquilla y Santa Marta, en las cuales las variaciones de color (gris-menor a rojo-mayor) reflejan la transición de los valores de potencia y rendimiento para cada una de las tecnologías consideradas, en función de las condiciones de oleaje.

**Tabla 6.** Matriz de potencia y factor de planta para Barranquilla con tecnología Pelamis.

		<b>Matriz Potencia Generada Barranquilla</b>							
		Periodo (s)							
		4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
Hs (m)	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	22	29	34	37	38
	1.5	-	-	32	50	65	76	83	86
	2	-	-	57	88	115	136	148	153
	2.5	-	-	89	138	180	212	231	238
	3	-	-	129	198	260	305	332	340
	3.5	-	-	-	270	254	415	438	440
	4	-	-	-	-	465	502	540	546
		<b>Factor de Planta Barranquilla</b>							
		Periodo (s)							
		4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
Hs (m)	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	3 %	4 %	5 %	5 %	5 %
	1.5	-	-	4 %	7 %	9 %	10 %	11 %	11 %
	2	-	-	8 %	12 %	15 %	18 %	20 %	20 %
	2.5	-	-	12 %	18 %	24 %	28 %	31 %	32 %
	3	-	-	17 %	26 %	35 %	41 %	44 %	45 %
	3.5	-	-	-	36 %	34 %	55 %	58 %	59 %
	4	-	-	-	-	62 %	67 %	72 %	73 %

**Tabla 7.** Matriz de potencia y factor de planta para Santa Marta con tecnología Pelamis.

		<b>Matriz Potencia Generada Santa Marta</b>					
		Periodo (s)					
		4	4.5	5	5.5	6	6.5
Hs (m)	0.5	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	22	29	34
	1.5	-	-	32	50	65	76
	2	-	-	57	88	115	136
	2.5	-	-	89	138	180	212
	3	-	-	129	198	260	305
	3.5	-	-	-	270	254	415
	4	-	-	-	-	465	502
			<b>Factor de Planta Santa Marta</b>				
		Periodo (s)					
		4	4.5	5	5.5	6	6.5
Hs (m)	0.5	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	3 %	4 %	5 %
	1.5	-	-	4 %	7 %	9 %	10 %
	2	-	-	8 %	12 %	15 %	18 %
	2.5	-	-	12 %	18 %	24 %	28 %
	3	-	-	17 %	26 %	35 %	41 %
	3.5	-	-	-	36 %	34 %	55 %
	4	-	-	-	-	62 %	67 %

**Tabla 8.** Matriz de potencia y factor de planta para Barranquilla con tecnología Oyster.

		<b>Matriz Potencia Generada Barranquilla</b>			
		Periodo (s)			
		4	5	6	7
Hs (m)	0.5	-	-	-	-
	1	27	39	57	76
	1.5	63	92	126	168
	2	75	160	233	301
	2.5	-	254	378	465
	3	-	368	503	693
	3.5	-	-	655	934
	4	-	-	843	1093
		<b>Factor de planta Generada Barranquilla</b>			
		Periodo (s)			
		4	5	6	7
Hs (m)	0.5	-	-	-	-
	1	1 %	1 %	2 %	2 %
	1.5	2 %	3 %	4 %	5 %
	2	2 %	5 %	7 %	9 %
	2.5	-	8 %	11 %	14 %
	3	-	11 %	15 %	21 %
	3.5	-	-	20 %	28 %
	4	-	-	25 %	33 %

**Tabla 9.** Matriz de potencia y factor de planta para Santa Marta con tecnología Oyster.

<b>Matriz Potencia Generada Santa Marta</b>				
		Periodo (s)		
		4	5	6
Hs (m)	0.5	-	-	-
	1	27	39	57
	1.5	63	92	126
	2	75	160	233
	2.5	-	254	378
	3	-	368	503
	3.5	-	-	655
	4	-	-	843
<b>Factor de planta Generada Santa Marta</b>				
		Periodo (s)		
		4	5	6
Hs (m)	0.5	-	-	-
	1	1 %	1 %	2 %
	1.5	2 %	3 %	4 %
	2	2 %	5 %	7 %
	2.5	-	8 %	11 %
	3	-	11 %	15 %
	3.5	-	-	20 %
	4	-	-	25 %

En Barranquilla y Santa Marta mediante un WEC Pelamis pueden conseguirse 546 Kw/m y 502 Kw/m, respectivamente, lo que representa un rendimiento del 73 % y 67 %, considerando las condiciones máximas de oleaje. Sin embargo, estas condiciones no son constantes a lo largo del tiempo como lo muestra la Figura 7. Con valores de mayor frecuencia se tendrían potenciales entre 115 Kw/m y 88 Kw/m, que indican un rendimiento del 15 % y 12 %. La variabilidad de las condiciones hace que el sistema no mantenga una generación máxima, por ende, se deben buscar condiciones donde se logre una generación eléctrica casi invariante como lo recomienda (Rodríguez-Abal, 2019), logrando un sistema confiable, que genere la energía necesaria para atender la demanda de los usuarios.

Con un dispositivo Oyster, bajo condiciones máximas de oleaje, se consiguen potenciales eléctricos de 1093 Kw/m y 843 Kw/m para Barranquilla y Santa Marta, respectivamente, lo que al final refleja un factor de planta del 33 % y 25 %. No obstante, y como se mencionó previamente, son condiciones que no son constantes a lo largo del tiempo. Con parámetros de mayor frecuencia se tendrían potenciales de 233 Kw/m y 160 Kw/m, que indican un rendimiento

del 7 % y 5 % en las zonas mencionadas. En comparación con un sistema Pelamis, el Oyster entrega mayores potenciales eléctricos, pero el rendimiento del equipo no alcanza los porcentajes mostrados por Pelamis como consecuencia de la potencia nominal.

### CONCLUSIONES

Se identificaron cuatro regiones en el Caribe colombiano con características similares de altura de ola, período y dirección. Una primera región insular correspondiente a San Andrés y Providencia; una región sur ubicada entre Urabá, Coveñas y Cartagena; una región central que corresponde a la región entre Barranquilla y Santa Marta, y una región norte, entre Riohacha y Puerto Bolívar.

Se encontró que Barranquilla y Santa Marta tienen valores de altura de ola más altos con respecto a las otras regiones, en 50 % y 99 % del tiempo y más bajos para Providencia, San Andrés, Urabá. Para el caso de regímenes extremales, los valores de altura de ola extremal más altos se presentan en aguas profundas de las regiones de Barranquilla y Santa Marta, y los más bajos en las regiones de Urabá y Coveñas.

El espectro del potencial de energía para las boyas virtuales se concentra entre 4 s a 6 s en período y entre 0.5 m y 3 m en alturas de ola, muy similar a lo reportado por (Appendini et al., 2015) para las boyas de Barranquilla, Puerto Bolívar y Providencia, donde el potencial más alto se observa en la boya de Barranquilla entre 7 s y 4 m, seguido de Santa Marta entre 6 s y 3.8 m.

El promedio anual de potencial de energía tiene los valores altos para los meses de diciembre a marzo, y los valores bajos en mayo, y entre septiembre a noviembre, los cuales corresponden la época seca y la época húmeda, respectivamente. La estadística y las bases de datos elaboradas en el presente trabajo proporciona información de referencia sobre el proceso de transformación de olas en aguas transitorias y someras en la zona de influencia marítima de todas las capitánías de puerto del Caribe.

En este sentido, teniendo en cuenta que la mayor parte de la investigación sobre energía de las olas en Colombia se ha centrado en caracterizar el recurso midiendo la altura y el período de las olas, se hace relevante desarrollar, optimizar y caracterizar equipos que permitan identificar la viabilidad de este tipo de tecnológicas, y el desarrollo de dispositivos para la generación de energía a partir de los recursos disponibles en el país.

De acuerdo con lo encontrado, las condiciones de oleaje superan el umbral necesario para activar un sistema WEC, con potenciales de rendimiento posiblemente aceptables, que podrían multiplicarse al montar parques de energía que involucren más de uno o dos dispositivos WEC, y considerando análisis más exhaustivos de las condiciones topográficas de zonas de instalación. Al final, la viabilidad de estos sistemas estará sujeta al factor económico, que marcará la relación costo beneficio de este tipo de tecnología categorizada como emergente.

#### **FUENTE FINANCIADORA**

El presente trabajo fue realizado con recursos propios del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) de la Dirección General Marítima (Dimar).

#### **CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

Conceptualización, C. U.; metodología, C. U.; curación de datos: C. D., A. C.; análisis, C. U., C. D., A. C.; software: C. U., C. D., A. C.; visualización, C. U.; redacción-preparación del borrador original, C. U.; redacción-revisión y edición, C. U., C. D. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agudelo, P.; Restrepo, A.; Molaes, R.; Torres, R.; Osorio, A. (2005). Determinación del clima de oleaje medio y extremal en el Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 23: 33-45. <https://doi.org/10.26640/22159045.137>
- Akpınar, A.; Kömürçü, M. (2012). Wave energy potential along the south-east coast of the Black Sea. *Energy*, 42(1): 289-302. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.057>
- Amador, J. (2008). El jet de bajo nivel del mar Intraamericano. *Anales de la Academia de Ciencias de Nueva York*, 1146: 153-188. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.012> PMID:19076415
- Amante, C.; Eakins, B. (2009). *ETOPO 1 1 arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. National Geophysical Data Center, Marine Geology and Geophysics Division, Boulder, Colorado: NOAA Technical Memorandum NESGIS NGDC-24.
- Andrade, C. A. (1992). Movimiento geostrofico en el Pacifico colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 12: 23-38. [https://doi.org/10.26640/01200542.12.23\\_38](https://doi.org/10.26640/01200542.12.23_38)
- Andrade, C. A.; Barton, E. (2000). Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105(C11): 26191-26201. <https://doi.org/10.1029/2000JC000300>
- Andrade, C. A.; Barton, E. D. (2005). The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25(9): 1003-1022. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.12.012>
- Appendini, C.; Urbano, C.; Figueroa, B.; Dagua, C.; Torres-Freyermuth, A.; Salles, P. (2015). Wave energy potential assessment in the Caribbean Low Level Jet using. *Applied Energy*,

- 137: 375-384. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.038>
- Aydogan, B.; Ayat, B.; Yüksel, Y. (2013). Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data. *Renewable Energy*, 57: 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.047>
- Bastidas, G. D. (2011). Evaluación temporal de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la bahía de Tumaco. *Bol. Cient. CIOH*, 29: 137-145. <https://doi.org/10.26640/22159045.236>
- Bernal, G.; Poveda, G.; Roldán, P.; Andrade, C. (2006). Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa Caribe colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(115): 195-208.
- Bernal, G.; Ruiz, M.; Beier, E. (2010). Variabilidad estacional e interanual océano-atmósfera en la cuenca Colombia. *Cuadernos del Caribe*, 14: 49-72.
- Booji, N.; Haagsma, I.; Holthuijsen, L.; Kieftenburg, A.; Ris, R.; Van der Westhuysen, A., Zijlema, M. (2004). *SWAN Usermanual, CycleIII Version 40.51*. Netherlands: Delft University of Technology.
- Cahill, B.; Lewis, T. (2014). *Wave period ratios and the calculation of wave power*. Seattle: Proceedings of the 2<sup>o</sup> Marine Energy Technology Symposium.
- Cañelas, B.; Orfila, A.; Méndez, F.; Gómez-Pujol, L.; Tintoré, J. (2007). Application of a POT model to estimate the extreme significant wave height levels around the Balearic Sea (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, 50: 329-333.
- Casanova, R.; Zambrano, M.; Latandret, S.; Guerrero, D.; Suárez, N.; Albán, C. (2019). *Comportamiento espacial de algunas variables fisicoquímicas en el Pacífico colombiano durante el Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana CPC XLIX*. *Bol. Cient. CIOH*, 38(1): 8-19. <https://doi.org/10.26640/22159045.2019.520>
- Curtis, S.; Gamble, D. (2007). Regional variations of the Caribbean mid-summer drought. *Theoretical and Applied Climatology*, 94: 25-34. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0342-0>
- Dagua, C.; Torres, R.; Monroy, J. (2018). Condiciones oceanográficas de la reserva de biósfera Seaflower 2014-2016. *Bol. Cient. CIOH*, 37: 53-74. <https://doi.org/10.26640/22159045.449>
- Dagua, C.; Lonin, S.; Urbano, C.; Orfila, A. (2013). Calibración del modelo SWAN y validación de reanálisis de oleaje en el Caribe. *Bol. Cient. CIOH*, 31: 13-28. <https://doi.org/10.26640/22159045.249>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Documento CONPES 3990 "Colombia potencia bioceánica sostenible 2030"*. Bogotá. 91 pp. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3990.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2023- 2026 "Colombia potencia mundial de la vida"*. Bogotá. 345 pp. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>
- Dirección General Marítima. (2023). *Convenios OMI (Organización Marítima Internacional)*. <https://www.dimar.mil.co/Internacional/convenios-omi-organizacion-maritima-internacional-0>
- González, E. (1987). Oceanografía física descriptiva del archipiélago de San Andrés y Providencia, con base en el análisis de los cruceros Océano IV a IX. *Bol. Cient. CIOH*, 7: 73-100. [https://doi.org/10.26640/01200542.7.73\\_100](https://doi.org/10.26640/01200542.7.73_100)
- Grisales, C.; Salgado, J.; Molares, R. (2014). Proceso de intercambio de masas de agua de la bahía de Cartagena (Caribe colombiano) basado en la medición de parámetros oceanográficos. *Bol. Cient. CIOH*, 32: 47-70. <https://doi.org/10.26640/22159045.263>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés". (Enero de 2015). *Noticias Invemar*. <https://www.invemar.org.co/50-mar#:~:text=El%20%C3%A1rea%20terrestre%20es%20de,la%20cifra%20que%20se%20use>
- Mesa-García, J. (2009). *Metodología para el reanálisis de series de oleaje para el Caribe*

- Colombiano. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Medellín, Colombia.
- Mesa, O.; Poveda, G.; Carvajal, L. (1997). *Introducción al clima de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Messinger, F.; DiMego, G.; Kalnay, E.; Mitchell, K.; Shafran, P.; Ebisunaki, W. (2006). North american regional reanalysis. *Bulletin American Meteorological Society*, 87: 343-360. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-3-343>
- Molares, R.; Vanegas, T.; Bustamante, J.; Andrade, C. (2004). Aspectos oceanográficos de las aguas sobre la depresión Providencia en mayo de 2004. *Bol. Cient. CIOH*, 22: 11-25. <https://doi.org/10.26640/22159045.124>
- Morales, E., (2016). *Análisis de un dispositivo oscilante como medio de captación de energía undimotriz. Tesis para optar a ingeniero civil mecánico*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/>
- Monroy, J.; Zambrano, A. (2017). Aspectos físicos del agua de mar entre las islas de Providencia y Cayo Bajo Nuevo durante la época de lluvias de 2016. *Bol. Cient. CIOH*, 35: 3-12. <https://doi.org/10.26640/22159045.428>
- Moreno, M.; Baéz, L. (2021). Expedición Seaflower: El paisaje cultural marítimo de Providencia y Santa Catalina. Resultados preliminares. *Bol. Cient. CIOH*, 40: 83-90. <https://doi.org/10.26640/22159045.2021.566>
- Nystuen, J.; Andrade, C. (1993). Tracking Mesoscale Ocean features in the Caribbean Sea using geosat altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 98(C5): 8389-8394. <https://doi.org/10.1029/93JC00125>
- Orejarena, A.; Restrepo, J.C.; Correa, A.; Orfila, A. (2022). Wave energy flux in the Caribbean Sea: Trends and variability. *Renewable Energy*, 181: 616-629. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.081>
- Ortega, S.; Osorio, A.; Agudelo, P. (2013). Estimation of the wave power resource in the Caribbean Sea in areas with scarce instrumentation Case study: Isla Fuerte, Colombia. *Renewable Energy*, 57: 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.11.038>
- Osorio, A.; Mesa, J.; Bernal, G.; Montoya, R. (2009). Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII y diferentes fuentes de datos. *Bol. Cient. CIOH*, 27: 37-56. <https://doi.org/10.26640/22159045.200>
- Poveda, G. (1998). *Retroalimentación dinámica entre el Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y la hidrología de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51284>
- Pujos, G.; Mesa, O. (1988). Hydrogeology of the Colombian Caribbean continental platform around the Dique Delta in the rainy season: Consequences on circulation. *Bulletin de L'Institut de Geologie du Bassin d'Aquitaine*, 44: 97-107.
- Rodríguez-Abal, D. (2019). *Estudio de áreas de implementación de sistemas undimotrices en la costa gallega*. Universidad Politécnica de Cartagena. España.
- Rueda, S. (2017). *Medidas regionales de planeamiento espacial marino para mejorar la sostenibilidad del Área Marina Protegida de Seaflower en el mar Caribe colombiano*. *Bol. Cient. CIOH*, 35: 41-62. <https://doi.org/10.26640/22159045.431>
- Ruiz, G.; Mendoza, E.; Silva, R.; Posada, G.; Pérez, D.; Rivillas, G.; Escalante, E.; Ruiz, F. (2009). Caracterización del régimen de oleaje y viento de 1948-2007 en el litoral mexicano. *Ingeniería del Agua*, 16(1): 51-64. <https://doi.org/10.4995/ia.2009.2944>
- Ruiz, M.; Bernal, G. (2009). Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 20: 7-20.
- Rusu, L.; Guedes, C. (2012). Wave energy assessments in the Azores islands. *Renewable Energy*, 45: 183-196. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.027>
- Shadman, M.; Roldán, M.; Pierart, F.; Haim, P.; Alonso, R.; Silva, C.; Osorio, A.; Almonacid, N.; Carreras, G.; Maali, M.; Arango, S.; Rosas, M.; Pelissero, M.; Tula, R.; Estefen, S.; Lafoz, M.; Saavedra, O. (2023). A review of offshore

- renewable energy in South America: current status and future perspectives. *Sustainability*, 15(2), 1740. <https://doi.org/10.3390/su15021740>
- Sosa, M.; Hernández, A. (2002). Variación del estado de mar al paso de las ondas tropicales por el mar Caribe. *Revista de Climatología*, 2: 1-4.
- Thomas, Y.; Nicolae, A.; Durand, P.; Posada, B.; García, C.; Andrade, C. A. (2011). *Altura significativa del oleaje en la cuenca colombiana del Caribe datos de altimetría radar*. *Bol. Cient. CIOH*, 29: 27-45. <https://doi.org/10.26640/22159045.227>
- Thomas, Y.; Nicolae, A.; Posada, B. (2012). Atlas climatológico del mar Caribe colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar)- Convenio Especial de Cooperación Colciencias. Gobernación del Magdalena.
- Torres, R.; Andrade, C. (2006). Potencial en Colombia para el aprovechamiento de la energía no convencional de los océanos. *Bol. Cient. CIOH*, 24: 11-25. <https://doi.org/10.26640/22159045.145>
- Torres, R.; Lonin, S. (2007). Estudio del espectro de oleaje en el Caribe observado con boyas y su representación en el espectro JONSWAP. *Bol. Cient. CIOH*, 25: 8-18. <https://doi.org/10.26640/22159045.158>
- Van Rijn, L. C. 1994. *Principles of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas, and oceans*. Aqua Publications, Delft, Holanda. 335 pp.
- Vega, M. J.; Álvarez, O.; Restrepo, J. C.; Ortiz, J. C.; Otero, L. J. (2020). Interannual variability of wave climate in the Caribbean Sea. *Ocean Dynamics*, 70: 965-976. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01377-1>
- Vergaray, J. (2008). *Generación eléctrica mediante el aprovechamiento del oleaje marítimo costero*. Universidad de Chile.
- Vernette, G. (1985). *La plateforme continentale Caraïbe du Colombie (du débouché du Magdalena au golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme mégarégionnaire sur la morphologie et la sédimentation*. Bordeaux: These de doctorat etates Sciences present a Université de Bordeaux.
- Vicinanza, D.; Costabile, P.; Ferrante, V. (2013). Wave energy potential in the north - west of Sardinia (Italy). *Renewable Energy*, 50: 506-521. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.015>
- Wang, C.; Lee, S. (2007). Atlantic warm pool, Caribbean low-level jet, and their potential impact on Atlantic hurricanes. *Geophysical Research Letters*, 34(2): 412-422. <https://doi.org/10.1029/2006GL028579>

ARTÍCULO CORTO

## La percepción de los usuarios sobre los riesgos costeros. Un estudio de caso práctico en las playas de Mayapo (Caribe colombiano)

### *User perception of coastal risks. A practical case study on the beaches of Mayapo (Colombian Caribbean)*

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.619> Fecha de recepción: 2023-08-11 / Fecha de aceptación: 2023-11-01

Alcides Rafael Daza-Daza<sup>1</sup>

#### CITAR COMO:

**Daza Daza, A.R. (2023).** La percepción de los usuarios sobre los riesgos costeros. Un estudio de caso práctico en las playas de Mayapo (Caribe colombiano). *Bol. Cient. CIOH*, 42(2): 47-57. ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.619>

#### RESUMEN

Las playas turísticas son ecosistemas sensibles y complejos que constantemente están sometidas a presiones derivadas de las actividades antrópicas. La presencia de fenómenos naturales incrementa los riesgos costeros. La presente investigación fue de tipo documental y descriptiva. El objeto del estudio se enfocó en valorar la percepción que tienen los usuarios sobre los riesgos costeros existentes en las playas de Mayapo, departamento de La Guajira. Entre los resultados se encontró que la amenaza más frecuente en la zona de playa procede de las inundaciones que se presentan en las temporadas de lluvias, caracterizadas por fuertes vientos y olas de gran tamaño. Se concluye que actualmente la zona de playa presenta amenazas de inundación que generan reducción de la franja costera y daños sobre la infraestructura presente, afectando la sostenibilidad ambiental, económica y sociocultural del territorio costero.

**PALABRAS CLAVES:** riesgos costeros, percepción, playas turísticas, fenómenos naturales, La Guajira.

#### ABSTRACT

*Tourist beaches are sensitive and complex ecosystems that are constantly subjected to pressures derived from anthropic activities. The presence of natural phenomena increases coastal risks. The research was documentary and descriptive. The object of the study focused on assessing the perception that users have about the existing coastal risks on the beaches of Mayapo, in the department of La Guajira, Colombia. Among the results, it was found that the most frequent threat to the area of the beach comes from floods that occur in the rainy seasons, characterized by strong winds and large waves. It is concluded that the beach area currently suffers flood threats that lead to a reduction in the size of the coastal strip and damage to the present infrastructure, affecting the environmental, economic and sociocultural sustainability of the coastal territory.*

**KEYWORDS:** Coastal risks, perception, tourist beaches, natural phenomena, La Guajira.

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0003-1110-1520. Universidad de La Guajira. Correo electrónico: [adaza@uniguajira.edu.co](mailto:adaza@uniguajira.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Los impactos de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas marinos y costeros, y la ausencia de una relación armónica entre las acciones humanas con su entorno han afectado las dinámicas naturales de los mismos, hasta el punto de poner en riesgo los servicios ecosistémicos que estos ofrecen. Además, la presencia de fenómenos naturales asociados con los efectos del cambio climático incrementa los riesgos costeros que la población puede sufrir en estos territorios (Ferrari, 2011). Por otra parte, se tiene que el factor de riesgo en estos espacios naturales está representado por la posibilidad de pérdidas ambientales, sociales y económicas; donde la ocurrencia de desastres implica la construcción histórica del pasado y el presente para entender los cambios ocurridos en el territorio costero (Ojeda-Rosero y López-Vásquez, 2017).

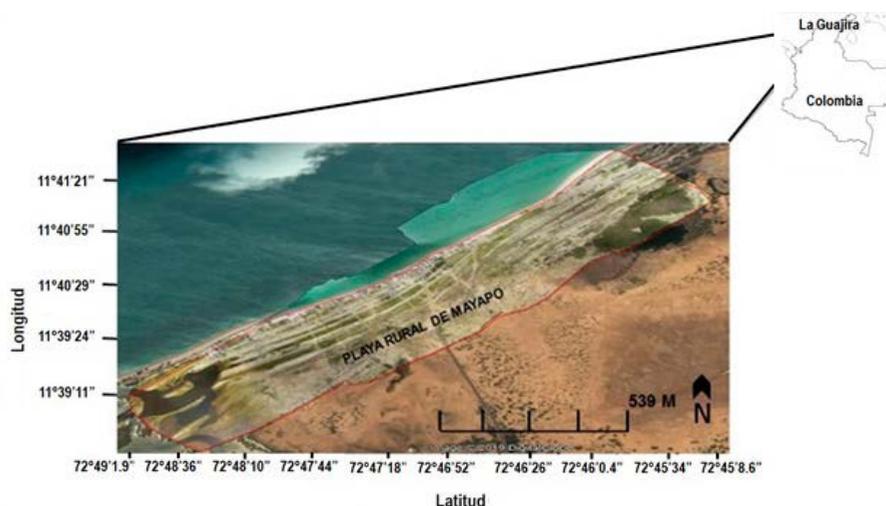
Partiendo de lo anterior, es entendible que las amenazas presentes en las zonas marinas y costeras alerten a la población frente a los daños potenciales que estas puedan desencadenar en un territorio. En este aspecto, la probabilidad de ocurrencia y los daños causados son condiciones fundamentales para valorar el nivel de riesgo que se pueda presentar en un área costera (Galán-Gaitán y Jiménez-Miranda, 2018). De igual forma, los ecosistemas de playas no son ajenos a la aparición de problemas socioambientales causados por las actividades antrópicas y los fenómenos naturales que se presentan por

causa del cambio climático (Cantarero, De la Fuente y Bellido, 2023). En este sentido, las playas turísticas son consideradas un espacio sensible a los daños causados por las actividades antrópicas y los desastres naturales (Daza-Daza, Castellanos-Martínez y Jiménez-Royeth, 2020).

En lo referente a la gestión costera, la percepción que los usuarios pueden tener de su entorno aporta información vital para conocer las relaciones existentes entre los diferentes actores (Villares, Roca y Oroval, 2015); además, permite determinar la posición y conocimiento de los residentes sobre los fenómenos e impactos ocurridos en la zona costera a lo largo de los años (Roca, Villares, Oroval y Ortega, 2014). Por lo anterior, el presente trabajo se orienta hacia la valoración de la percepción que tienen los usuarios sobre los riesgos costeros existentes en las playas de Mayapo, departamento de La Guajira.

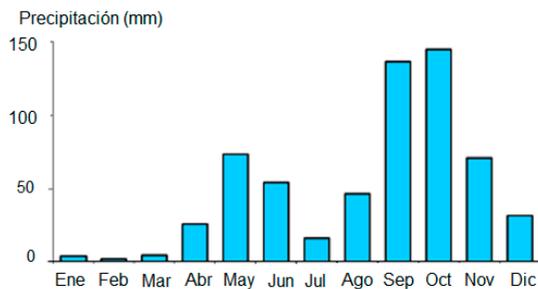
## ÁREA DE ESTUDIO

El corregimiento de Mayapo pertenece al municipio de Manaure, ubicado en el departamento de La Guajira. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con la comunidad de Garciamana, al suroccidente con las comunidades de Capichiraure y el Chorro y al occidente con la comunidad de Popoya (Chaux, Márquez, Acero y Gómez, 2018) (Fig. 1). Las playas turísticas de Mayapo están localizadas a 30 minutos de la capital del departamento de La Guajira, por vía terrestre.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. (Tomada de: Daza-Daza et al., 2020).

El departamento de La Guajira se caracteriza por presentar temperaturas promedio que oscilan alrededor de los 28.3°C, con precipitaciones escasas, concentradas principalmente en septiembre y octubre, meses en los que en promedio llueve 150 mm/mes (Fig. 2), lo que lo caracteriza por ser de clima semiárido y árido. La zona está altamente influenciada por los vientos Alisios del Noreste, los cuales alcanzan velocidades sostenidas promedio de 9 m/s a una altura del suelo de 10 m (Ideam, 2014; Gonzáles y Barney, 2019; CIOH, 2020).



**Figura 2.** Precipitación en Riohacha (La Guajira). (Fuente: Ideam, 2014).

## METODOLOGÍA

De acuerdo con Yáñez-Arancibia y Day (2010), la zona costera se considera una amplia ecorregión con intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, en la cual ocurre un intercambio dinámico de materiales y energía entre el continente, las aguas dulces, la atmósfera y el mar adyacente. En lo que respecta a los riesgos costeros, Alonso, Vides y Londoño (2001) los definen como la probabilidad de que ocurran eventos peligrosos en las zonas costeras, y las posibles consecuencias negativas que pueden resultar de estos eventos.

La amenaza y vulnerabilidad en las zonas costeras han sido abordadas por diferentes autores. González (1990) define la amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno a cierta magnitud durante el cual se puede causar un daño; mientras que, respecto a la vulnerabilidad, Blaikie, Cannon, Davis y Wisner (1996) la definen como la característica de una persona o grupo con base en su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Según Alonso *et*

*al.*, (2001), la amenaza hace alusión a los eventos o fenómenos naturales que pueden causar daño o poner en peligro a las zonas costeras y la vulnerabilidad contempla la susceptibilidad de las zonas costeras a sufrir daños o perder recursos como resultado de eventos peligrosos.

En el contexto de las playas turísticas se define el término usuario como aquella persona que utiliza o disfruta las playas como destino turístico o recreativo, lo cual incluye, no solo a los turistas que visitan la playa de forma temporal, sino también a los residentes locales que la utilizan de forma regular (EPA, 2023). En este sentido y según Sauver, Roca y Villares (2022), algunos de los tipos de usuarios que se pueden encontrar en el área de playa son:

- Residentes locales: las playas son frecuentadas por los residentes que viven cerca de ellas. Estas personas pueden visitar las playas para disfrutar del sol, nadar, hacer ejercicio o relajarse.
- Turistas: las playas son destinos populares, por lo que los turistas son sus usuarios frecuentes. Los turistas visitan las playas para disfrutar de las vacaciones, explorar el entorno natural y participar en actividades acuáticas.
- Familias: las playas son atractivas para las familias que buscan pasar tiempo de calidad juntas. Los padres y sus hijos pueden disfrutar construyendo castillos de arena, jugando en el agua y realizando actividades recreativas.
- Deportistas: las playas también son utilizadas por deportistas que practican diferentes actividades como surf, voleibol de playa, natación, buceo, entre otros. Estos usuarios aprovechan las condiciones naturales de las playas para disfrutar de sus deportes favoritos.
- Amantes de la naturaleza: muchas personas visitan las playas para apreciar la belleza natural y la vida marina. Estos usuarios pueden estar interesados en observar aves, explorar las áreas protegidas cercanas a las playas o disfrutar del entorno natural.
- Usuarios de servicios y amenidades: algunas personas visitan las playas para aprovechar los servicios y amenidades disponibles como restaurantes, bares, alquiler de equipos de playa, tumbonas, sombrillas, entre otros.

La presente investigación fue de tipo documental y descriptiva de acuerdo con la

clasificación presentada por Tamayo (2001). Para ello se hizo uso de fuentes de información secundaria que permitieran conocer antecedentes relacionados con fenómenos naturales que han impactado las costas de Mayapo. Igualmente, se implementó la observación directa en campo para identificar evidencias que permitieran validar los riesgos actuales a los que están expuestos los usuarios de las playas. Posteriormente, se utilizó la descripción en campo para obtener una

caracterización de los problemas presentes en el sector playa y se utilizó la entrevista dirigida a residentes, con el fin de conocer su percepción acerca de los riesgos existentes en la misma (Daza-Daza *et al.*, 2020). Para ello y siguiendo los criterios de la Agencia de Estados Unidos para la Cooperación Internacional - USAID (1991) se implementó la matriz de valoración cualitativa indicada en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Variables contempladas para valoración cualitativa de riesgos. (Modificada de: USAID, 1991).

Variable	Descripción
Condición del agua	Se valoró de forma visual la calidad del agua, incluyendo la presencia de contaminantes, la transparencia, el olor y la presencia de algas u otros organismos perjudiciales para la salud.
Presencia de señales de advertencia	Se verificó si existían señales o indicadores visibles que advirtieran acerca de posibles peligros, como corrientes fuertes, presencia de tiburones, áreas de rocas o presencia de vida marina peligrosa.
Condiciones del terreno	Se evaluó el estado del terreno, como la presencia de ondulaciones, pendientes o áreas inestables que representen riesgos para los usuarios.
Presencia de servicios de emergencia	Se verificó la disponibilidad y proximidad de servicios de emergencia como salvavidas, equipos de rescate y acceso a servicios médicos en caso de necesidad.
Evaluación de la actividad humana	Se observó la cantidad de personas presentes en la playa, la forma en que interactúan con el entorno y si están siguiendo las normas de seguridad establecidas.

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas, utilizando el muestreo intencional (Otzen y Manterola, 2022), teniendo como criterio escoger a las personas mayores de edad, con mayor tiempo de residencia en el sector de playa y con un amplio conocimiento de las amenazas presentes en el sector (Fig. 3). En el momento de ejecución de las actividades de campo se encontró un total de 20 residentes que cumplían este criterio.

El trabajo de campo se apoyó con estudiantes del décimo semestre del Programa Ingeniería Ambiental de la Universidad de La Guajira - Sede Fonseca, en curso de la asignatura Énfasis III - Evaluación y gestión de riesgos naturales y antrópicos en áreas marinocostaseras 2022-II (Fig. 4). Para la tabulación de la información se implementó la hoja de cálculo Microsoft Excel para Windows, versión 2016.



**Figura 3.** Realización de entrevistas en la zona de estudio.



**Figura 4.** Actividades de observación en campo.

Finalmente y para la determinación de la percepción de los residentes locales sobre las amenazas, se formularon las siguientes preguntas:

- ¿Ha experimentado alguna amenaza natural en la zona de las playas de Mayapo?
- ¿Cuál ha sido su reacción después de la presentación de la amenaza natural?
- ¿Qué medidas se han tomado para mitigar y/o prevenir las amenazas presentes en las playas de Mayapo?
- ¿Ha recibido información por parte de alguna autoridad acerca de qué hacer frente a una amenaza natural?
- ¿Cuentan las playas de Mayapo con algún plan o medidas para actuar en caso de presentarse alguna amenaza natural?
- ¿Qué opina usted sobre la utilización de la vegetación nativa como estrategia de mitigación de las amenazas naturales en el área de playa?

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***Antecedentes relacionados con los fenómenos naturales que han impacto las costas de Mayapo***

La península de La Guajira y las islas de San Andrés y Providencia, son las zonas en

Colombia con más alto riesgo ante la amenaza de las tormentas que vienen del Este (Ortiz-Royero, 2007). En las décadas de los 80 y 90, el departamento de La Guajira se vio afectado por los coletazos de alrededor de 25 huracanes que se presentaron en el mar Caribe (Corpoguajira e Invemar, 2012). El reporte de eventos meteomarineros amenazantes para el departamento de La Guajira en el periodo 1966-2016 obtenidos de la base de datos DESINVENTAR, igualmente evidenció que la amenaza más frecuente es la inundación, seguida por los vendavales (Invemar y Gobernación de La Guajira, 2018).

En la actualidad y según los comentarios de los residentes locales, las amenazas naturales se siguen presentando en la zona de playa; dentro de las cuales se encuentran: las marejadas, desbordamiento de arroyos y lluvias torrenciales, las cuales han causado fuertes inundaciones y cambios en las dinámicas de transporte arena (erosión costera), ocasionando a su vez, destrucción de infraestructura costera (enramadas, baños públicos, cocinas y paredes de soporte construidos de material) y deterioro de los ecosistemas de manglar.

Investigaciones realizadas por Rangel y Anfuso (2012), demuestran que los cambios históricos que han presentado los ecosistemas de playas en el municipio de Manaure evidencian un acrecimiento de las playas de 33.7 m en 32 años que equivale a tasas de +1 m/año. Teniendo

en cuenta lo anterior, es necesario aclarar que, si bien es cierto que los fenómenos naturales como los huracanes no se han formado directamente en las costas del corregimiento de Mayapo, La Guajira por su posición geográfica, es la segunda zona de Colombia con mayores posibilidades de ser afectada por los coletazos de huracanes, esto debido a que, en el Caribe, el tránsito de los huracanes se realiza en la dirección de Este a Noroeste (Corpogujira e Invemar, 2012).

### ***Percepción de los residentes sobre las amenazas naturales presentes en la zona***

Con base en las respuestas obtenidas de las entrevistas realizadas, en términos generales, se encontró que la amenaza más frecuente en la zona de playa corresponde a las inundaciones que se presentan en las temporadas de lluvias, caracterizadas por fuertes vientos y olas de gran tamaño. Estas provocan daños en la infraestructura presente (destrucción de enramadas, restaurantes y edificaciones hoteleras), pérdidas económicas por la imposibilidad de ofrecer sus productos a los turistas (artesanías, venta de comida) y disminución de la franja de playa por transporte de sedimentos. Asimismo, se evidenció la preocupación de los residentes locales con relación a la periodicidad de los fenómenos naturales,

ya que expresaron que “si las amenazas por inundaciones se presentaran de forma periódica, Mayapo dejaría de existir”.

Al momento de evaluar la percepción de los residentes sobre su capacidad de respuesta con relación a las amenazas, se encontró que terminados los fenómenos naturales, la comunidad local realiza actividades de recuperación de la madera de las enramadas y de los enseres que puedan tener alguna utilidad. Fueron enfáticos en manifestar que estas acciones las realizan de forma independiente, sin recibir apoyo de alguna institución estatal.

Con relación a la pregunta ¿qué medidas se han tomado para mitigar y/o prevenir las amenazas presentes en las playas de Mayapo?, se encontró que para mitigar los efectos de las inundaciones la comunidad local ha implementado como medida la extracción de arena de la misma playa para construir barreras de protección (Fig. 5a) y la utilización de carretillas para transportar arena de la playa (Fig. 5b) y rellenar las vías de acceso inundadas, para así garantizar la entrada de los turistas con sus vehículos; acción que posiblemente pueda estar incrementando el problema por la pérdida de sedimento en el área de playa.



**Figura 5.** Acciones de manejo por parte de la población local (a) y elementos empleados para transportar arena (b).

Con relación a que si los residentes locales conocen de la existencia de algún plan de gestión del riesgo, se evidenció que no cuentan con esta herramienta de gestión; además, manifestaron que la presencia institucional es baja, puesto que solo en las temporadas de vacaciones se encuentran los actores institucionales.

Por otra parte, la percepción de los residentes locales con respecto a la importancia de la conservación de los ecosistemas de manglar y su utilización como medida de mitigación frente a las amenazas por inundación, evidenció que estos consideran que tener manglares en la zona de costa no evita las inundaciones que actualmente se presentan. Una de las razones manifiestas es que las fuertes corrientes que se forman arrastrarían con las especies de manglar. En este sentido, algunos consideraron que los espolones sí podrían ser una buena medida de acción. Es importante mencionar que algunos residentes locales manifestaron que cuando las playas eran vírgenes y no existía la carretera, el sector de Mayapo estaba cubierto de manglar y existía una gran extensión de playa; sin embargo, con la construcción de la vía llegó el turismo a la zona y los lugareños comenzaron a talar el mangle, construir enramadas y vías de acceso.

En este sentido, es claro advertir cómo los impactos derivados de los fenómenos naturales

y las actividades antrópicas han afectado no solo el turismo, sino también la calidad paisajística de los ecosistemas de playa. Con relación a lo anterior, en el estudio de percepción del paisaje en playas del Caribe colombiano realizado por Botero, Anfuso, Williams y Palacios (2013), se encontró que los usuarios que visitan las playas rurales las prefieren por la limpieza de su arena, la claridad de sus aguas, su vegetación natural y las características morfológicas que estas poseen (acantilados, plataformas rocosas, cuevas, arcos y dunas).

### ***Actividades antrópicas, efectos y riesgos presentes en las playas de Mayapo***

Durante el desarrollo del estudio se encontraron actividades antrópicas cuyos efectos pueden tener un impacto negativo en el turismo, en la salud de los ecosistemas costeros y en la protección de la línea de costa. Entre las actividades se encuentran la extracción de arena y conchas marinas (Fig. 6a), utilizadas para rellenar las vías inundadas y cuyo efecto principal es la disminución del ancho de la franja de playa (Fig. 6b). La acumulación de residuos sólidos procedentes de restaurantes, hoteles y hostales (Fig. 6c) deriva en contaminación de los ecosistemas de manglar y zonas con estancamiento de agua (Fig. 6d), que se convierten en generadoras de vectores.





**Figura 6.** Actividades antrópicas y efectos identificados en el área de playa. Extracción de conchas marinas (a), reducción de la franja costera (b), acumulación de residuos sólidos (c), inundación de infraestructura (d), propágulos de manglar (e) y tránsito de vehículos (f).

Las actividades de rastillaje manual de la arena, y el tránsito constante de turistas y residentes afectan a los procesos de regeneración natural de los propágulos de manglar (Fig. 6e) e impiden su crecimiento natural; mientras que el tránsito de motos y vehículos (Fig. 6f) ocasiona compactación y pérdida de la cobertura vegetal del suelo. Todo esto sumado a la ausencia de autoridades ambientales e instituciones de gestión del riesgo y desastres.

Partiendo de lo anterior, Pérez (2021) considera que las actividades antrópicas que se desarrollan en las zonas costeras pueden incrementar los riesgos en las áreas de playa; indicando que entre las actividades con mayor incidencia se cuentan el incremento del turismo, la extracción de materiales, la generación de residuos domésticos y el turismo mal planificado.

## CONCLUSIONES

Las playas de Mayapo presentan actualmente riesgos para los usuarios, derivados de los eventos amenazantes de origen meteomarinero y de las actividades antrópicas que impactan de forma negativa el ecosistema costero.

La extracción de arena de la playa por parte de los residentes locales, como medida de mitigación frente a los procesos de inundación, puede afectar la estabilidad del litoral debido a la pérdida de sedimento. Además, la construcción de muros de contención con sacos de arena de la playa altera los procesos naturales de sedimentación, afectando la dinámica natural de las playas y su capacidad de protección frente a eventos climáticos extremos.

La falta de una herramienta de gestión del riesgo para la playa de Mayapo produce efectos negativos en su estado y conservación; además, la ausencia institucional en la zona costera puede generar un uso inadecuado de los ecosistemas presentes, poniendo en riesgo su sostenibilidad.

La existencia de una percepción negativa por parte de los residentes locales en cuanto a la eficacia del manglar como medida de mitigación, indica la necesidad de generar espacios de diálogo con la población para mejorar la comprensión de la gestión del riesgo de desastres, desde el conocimiento de las amenazas, estrategias de reducción, y actividades de respuesta y recuperación, sin consecuencias negativas para los ecosistemas en la playa de Mayapo y sus usuarios.

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a la Universidad de La Guajira y al grupo de estudiantes Adriana Romero, Yair Ruiz, Tania Muegues, Aldo Daza, Yina Carrillo, Keiner Rodríguez, Dariana Rosamor, Reinaldo Lerma, María López, Janerson Vargas, Maryuris Angulo, Jeferson Díaz, Deina Gutiérrez, Mari Muegues, Luis Ortiz, Adriana Herrera y Ángel Moya, pertenecientes a la asignatura Énfasis III Evaluación y gestión de riesgos naturales y antrópicos en áreas marino costeras - 2022-II, del Programa Ingeniería Ambiental de la Universidad de La Guajira - Sede Fonseca.

## FUENTE FINANCIADORA

La investigación fue desarrollada con recursos de la Universidad de La Guajira.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Estados Unidos para la Cooperación Internacional. (1991). *Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños*. Usaid. <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/oea57s.pdf>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2023). *La importancia de la protección de las playas*. EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-proteccion-de-las-playas>
- Alonso, D.; Vides, M.; Londoño, M. (2001). *Amenazas y riesgos ambientales en las zonas costeras colombianas. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar). Colombia.
- Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I.; Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. Primera edición: julio de 1996, 292 pp. <http://www.desenredando.org/public/>
- Botero, C.; Anfuso, G.; Williams, A.; Palacios, A. (2013). Perception of coastal scenery along the Caribbean littoral of Colombia. *Journal of Coastal Research*, 65: 1733-1738. <https://doi.org/10.2112/SI65-293.1>
- Cantarero, F. J.; De la Fuente, A.; Bellido, J. (2023). El impacto de las medusas en el uso recreativo de las playas. Un enfoque desde la perspectiva del riesgo. *Cuadernos Geográficos*, 62(1): 300-318. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.27168>
- Chaux, V.; Márquez, F.; Acero, L.; Gómez, S. (2018). *Programa de fortalecimiento productivo y empresarial para pueblos indígenas y comunidades Negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras- NARP en Colombia. Diagnóstico diferencial: Comunidad Mayapo-Manaure, La Guajira*. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. <https://>

- repositorio.artesaniadescolombia.com.co/bitstream/001/5861/1/INST-D%202018.%20129.pdf
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. (2020). *Climatología puertos del Caribe colombiano. Riohacha. CIOH*. [https://cioh.dimar.mil.co/images/site/principales\\_puertos/pdf/6\\_RIOHACHA.pdf](https://cioh.dimar.mil.co/images/site/principales_puertos/pdf/6_RIOHACHA.pdf)
- Corporación Autónoma Regional de La Guajira; Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2012). *Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N°. 27. Santa Marta, Colombia. 188 pp.* [https://aquadocs.org/bitstream/1834/5909/1/Atlas\\_Guajira.pdf](https://aquadocs.org/bitstream/1834/5909/1/Atlas_Guajira.pdf)
- Daza-Daza, A; Castellanos Martínez, M.; Jiménez Royeth, G. (2020). *La gestión integral de playas: una propuesta metodológica aplicada a entornos urbanos y rurales. Universidad de La Guajira*. <https://tinyurl.com/2572r9j5>
- Ferrari, M. P. (2011). Percepción social del riesgo: problemáticas costeras y vulnerabilidades en Playa Magagna (Chubut). *Huellas, 15: 13-33*. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/2764>
- Galán-Gaitán, M.; Jiménez-Miranda, K. (2018). Patrones socioculturales en las prácticas constructivas habitacionales y su influencia en la vulnerabilidad sísmica: caso de estudio de la localidad Puerto Mototombo, municipio de La Paz Centro, Departamento de León, Nicaragua, 2017. *Vivienda y comunidades sustentables, 3: 47-62*. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i3.35>
- González, A. J. (1990). Metodología para evaluación de riesgo por deslizamientos a nivel intermedio. Memorias de las VI Jornadas Geotécnicas Colombianas. En: *Memorias de las VI Jornadas Geotécnicas Colombianas. Sociedad Colombiana de Ingenieros, 55 pp.*
- González, C.; Barney, J. (2019). *El viento del este llega con revoluciones: multinacionales y transición con energía eólica en territorio Wayúu. Bogotá. Alternativa gráfica. 212 pp.* <https://co.boell.org/es/2019/12/05/el-viento-del-este-llega-con-revoluciones-multinacionales-y-transicion-con-energia>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Precipitación media total anual. Promedio multianual 1981-2010. Ideam*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés"; Gobernación de La Guajira. (2018). *Desarrollo del programa de investigación, desarrollo e innovación para la protección de zonas costeras en los departamentos de La Guajira y Magdalena, Santa Marta, Colombia. Invemar-Gobernación de La Guajira*.
- Ojeda-Rosero, D.; López-Vázquez, E. (2017). *Relaciones intergeneracionales en la construcción social de la percepción del riesgo. Desacatos, 54: 106-121*. <https://tinyurl.com/227nrbc0>; <https://doi.org/10.29340/54.1743>
- Ortiz-Royero, J. C. (2007). Huracanes y tormentas tropicales en el mar Caribe colombiano desde 1900. *Bol. Cient. CIOH, 25: 54-60*. <https://doi.org/10.26640/22159045.162>
- Otzen, T.; Manterola, C. (2022). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol, 35(1): 227-232*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pérez, A. S. (2021). Los riesgos costeros: Retos para el desarrollo sostenible del turismo en los territorios insulares en el contexto del cambio climático. *Explorador Digital, 5(1): 317-333*. <https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v5i1.1505>
- Rangel, N.; Anfuso, G. (2012). *Morfología, morfodinámica y evolución reciente en la Península de la Guajira, Caribe colombiano*. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/5181>
- Sauver, I.; Roca, E.; Villares, M. (2022). Percepciones de los usuarios de las playas sobre los proyectos de regeneración costera como estrategia de adaptación en el Mediterráneo occidental. *Revista de investigación en hotelería y turismo, 46(3): 418-441*. <https://doi.org/10.1177/10963480198891>

- Tamayo, M. (2001). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa. <https://tinyurl.com/2k9v6fxt>
- Roca, E.; Villares, M.; Oroval, L.; Ortega, J. (2014). *Conocer la percepción del riesgo costero para adaptarse al cambio climático*. En *Congreso Nacional de Medio Ambiente*. Madrid. pp. 1-10. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/81642>
- Villares, M.; Roca, E.; Oroval, L. (2015). *El análisis de la percepción del riesgo costero: una herramienta para la GIZC*. VIII Jornadas de Geomorfología Litoral. <https://tinyurl.com/2bxl7o47>
- Yáñez-Arancibia, A.; Day, J. (2010). La zona costera frente al cambio climático – Vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en manejo costero. (p: 12 – 35). En: Yáñez-Arancibia, A. (Ed). *Impactos del cambio climático sobre la zona costera*. Instituto de Ecología A.C. (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México D. F. 200 p. 15. <http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/638.pdf>



## ARTÍCULO CORTO

**Factores oceanográficos como moduladores de la biodiversidad en el sistema de surgencia de La Guajira: una revisión sistemática***Oceanographic factors as modulators of biodiversity in the La Guajira upwelling system: a systematic review*DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.621> Fecha de recepción: 2023-09-18 / Fecha de aceptación: 2023-11-10Aura María Rodríguez Burgos<sup>1</sup>, Francisco Briceño Zuluaga<sup>2</sup>**CITAR COMO:****Rodríguez Burgos, A.M.; Briceño Zuluaga, F. (2023).** Factores oceanográficos como moduladores de la biodiversidad en el sistema de surgencia de La Guajira: una revisión sistemática. *Bol. Cient. CIOH*, 42(2): 59-70. ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.621>**RESUMEN**

En la zona norte de Colombia se encuentra el departamento de La Guajira, un área marinocostera influenciada por diferentes procesos oceanográficos y atmosféricos que le atribuyen características únicas. Diversas investigaciones se han centrado en describir el comportamiento oceanográfico de La Guajira, en la cual las variables ambientales responden de manera distinta de acuerdo con la época climática; sin embargo, son pocos los trabajos que contrastan los procesos oceanográficos del área de interés con la biodiversidad. La presente revisión sistemática tuvo como objetivo determinar los principales factores ambientales que modulan la oceanografía de La Guajira, y establecer si los autores los vinculan con aspectos de biodiversidad. Para lograrlo se realizó una búsqueda de artículos científicos relacionados con temas de climatología y oceanografía de La Guajira, para lo cual fueron consultadas tres bases de datos mundialmente reconocidas: Scopus, Science Direct, y Web of Science. Finalmente, se concluyó que, a pesar de que varias investigaciones han analizado el comportamiento del mar Caribe y la manera en la que su temperatura, salinidad y clorofila varían a diferentes escalas, pocas investigaciones se han enfocado en relacionar estas características con la biodiversidad de la zona; un aspecto clave para tener en cuenta si se considera que las especies y los ecosistemas responden a la manera en la que se comporta el clima y el océano.

**PALABRAS CLAVE:** La Guajira, surgencia, oceanografía, biodiversidad.**ABSTRACT**

*In the northern part of Colombia is the department of La Guajira, a marine-coastal area influenced by different oceanographic and atmospheric processes that give it unique characteristics. Various investigations have focused on describing the oceanography of La Guajira, in which the environmental variables respond differently according to the climatic season; however, there are few works that contrast the oceanographic processes of the area of interest with the biodiversity. The objective of this systematic review was to determine the main environmental factors that modulate the oceanography of La Guajira and to establish whether the authors link them with aspects of biodiversity. To achieve this, a search was carried out for scientific articles related to the climatology and oceanography of La*

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0002-9104-4417. Universidad Militar Nueva Granada – Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas y JEAI-IRD-UMNG: CHARISMA, Colombia. Correo electrónico: [est.aura.rodriguez@unimilitar.edu.co](mailto:est.aura.rodriguez@unimilitar.edu.co)

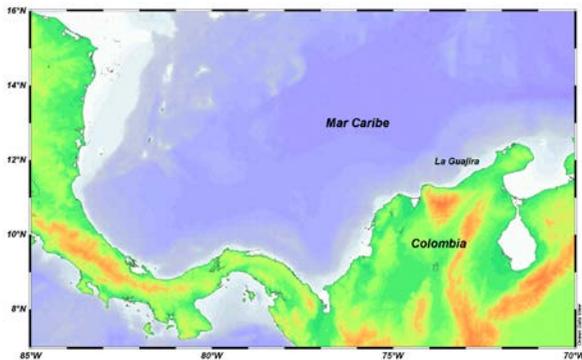
<sup>2</sup> Orcid: 0000-0002-2696-0996. Universidad Militar Nueva Granada - Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas y JEAI-IRD-UMNG: CHARISMA, Colombia. Correo electrónico: [francisco.briceno@unimilitar.edu.co](mailto:francisco.briceno@unimilitar.edu.co)

*Guajira, for which three world-renowned databases were consulted: Scopus, ScienceDirect, and Web of Science. Finally, it was concluded that, although several investigations have analyzed the behavior of the Caribbean Sea and the way in which its temperature, salinity and chlorophyll vary at different scales, few investigations have focused on relating these characteristics with the biodiversity of the zone; a key aspect to take into account if we think that species and ecosystems respond to the way the climate and the ocean behave.*

**KEYWORDS:** *La Guajira, upwelling, oceanography, biodiversity.*

## INTRODUCCIÓN

La Guajira es una península ubicada al norte de Colombia (Fig. 1), caracterizada por ser un área de ecosistemas desértico y xerofítico, que además está altamente influenciada por el sistema de surgencia del Caribe, el cual a su vez es impulsado por los vientos Alisios del noreste (Martínez, Goddard, Kushnir y Ting 2019) y el chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés) (Muñoz, Busalacchi, Nigam y Ruiz-Barradas, 2008; Wang, 2007; Andrade y Barton, 2005).



**Figura 1.** Departamento de La Guajira y su área marina adyacente.

Adicionalmente, está influenciada por el movimiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), responsable de las precipitaciones en el área, las cuales oscilan entre 218 mm y 532 mm (Toro-Tobón, Alvarez-Flórez, Mariño-Blanco y Melgarejo, 2022). La temperatura superficial del mar (TSM) oscila entre 20 °C y 30 °C, con un promedio de 25 °C (Rueda-Roa y Muller-Karger, 2013, Chollet *et al.* 2012). Estos atributos permiten que haya un afloramiento de materia orgánica que atrae una diversidad de especies como peces, reptiles

marinos y tiburones (Andrade y Barton, 2005; Vásquez y Sullivan, 2021).

En esta zona son pocos los estudios realizados que aborden temas de biodiversidad marina y/o su relación con la climatología u oceanografía, entre los cuales se destacan Muller-Karger (2023), Ayala, Gutiérrez y Montoya (2022), Dorado-Roncancio, Medellín-Mora, Mancera-Pineda y Pizarro-Koch (2022), Invemar (Eds. 2010), Páramo *et al.*, (2003); Bernal *et al.*, (2016), debido a que es un área en la cual se abordan principalmente aspectos sociales, culturales y económicos (Bonet-Morón y Hahn-De-Castro, 2017; Colorado y Moreno, 2017).

En este sentido, se considera pertinente discutir no solo los temas sociales, sino también abordar temas climatológicos y oceanográficos de la zona, ya que su variación en el tiempo podría poner en riesgo a las poblaciones indígenas y la biodiversidad asociada (Vásquez y Sullivan, 2021). Por tal motivo, el presente trabajo tuvo como objetivo identificar las tendencias en investigación en el área marítima de La Guajira a partir de un análisis bibliométrico, y con base en este determinar los principales factores ambientales que modulan la oceanografía de La Guajira, y establecer si los autores lo vinculan o no con aspectos de biodiversidad.

## ÁREA DE ESTUDIO

La región de La Guajira, en términos oceanográficos y ecológicos se caracteriza por la presencia de un sistema de surgencia estacional de baja productividad (Gómez y Acero, 2020); por consiguiente, existe una alta variabilidad en términos de estructura oceanográfica y atmosférica. Empleando reflectancias satelitales y funciones empíricas ortogonales estandarizadas, Bastidas-Salamanca, Ricaurte, Santamaría

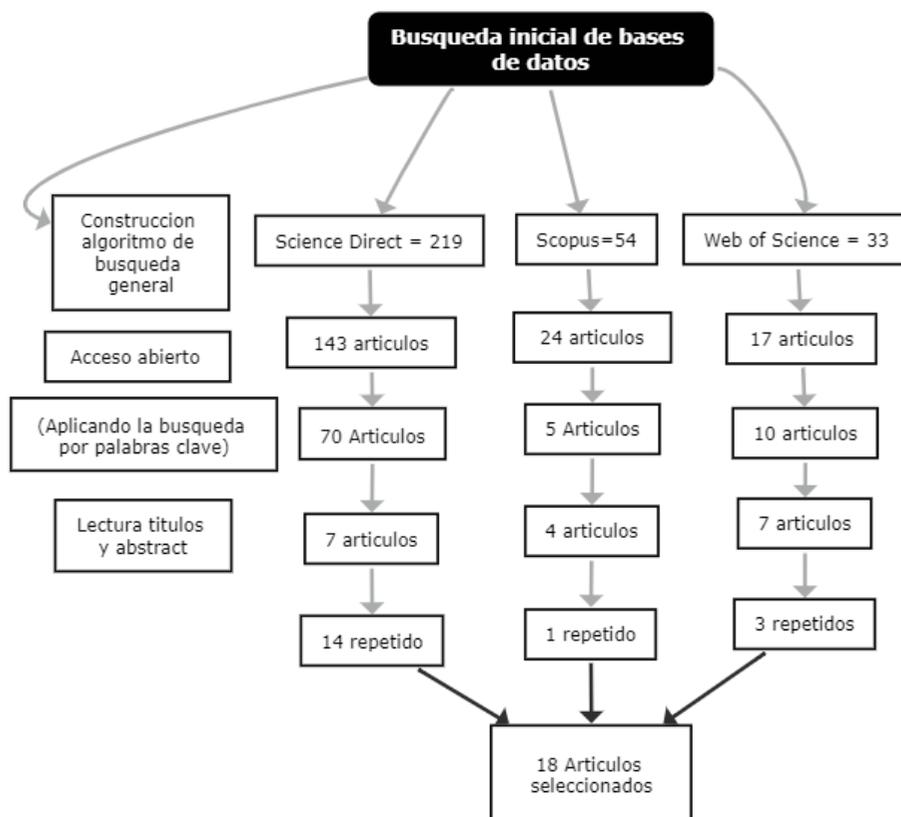
del Ángel, Ordóñez, Murcia y Romero (2017) identificaron 9 regiones oceanográficas en el Caribe colombiano de alta variabilidad en el ciclo anual, una de las cuales fue denominada Sistema de La Guajira, descrita por Murcia, Ricaurte, Ordóñez y Bastidas-Salamanca (2017) como una zona de alto dinamismo oceanográfico, en la cual el principal mecanismo de fertilización lo constituye la advección, más que el transporte de Ekman, y que varía dependiendo de la época dominante; bien sea a través de remolinos de mesoescala desde el este, que están transportando nutrientes desde el golfo de Venezuela, o bien desde el oeste por las descargas continentales del río Magdalena llevadas a través de la contracorriente del Caribe.

El área es habitada por diferentes grupos indígenas Wayúu, Koguis y Arzarios, reconocidos por su cultura y tradición; alcanzando una población superior al 1000 000 de habitantes, según la Cámara de Comercio de La Guajira (2017).

Su economía se concentra en la extracción minera de sal, gas y carbón; en la agricultura a través de siembra de ajonjolí, arroz, sorgo, algodón, yuca, caña de azúcar y tabaco, además de algunas actividades turísticas. Sin embargo, es el tercer departamento más pobre de Colombia, seguido de Chocó y Vichada (Otero-Cortés, 2013).

## METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de artículos científicos conexos con temas de climatología y oceanografía de La Guajira, Colombia. La búsqueda se realizó usando tres bases de datos disponibles en la Universidad Militar Nueva Granada: Scopus, Science Direct, Web of Science (WoS). La información se obtuvo bajo un criterio de búsqueda de artículos publicados en los últimos 20 años (2003 al 2021) relacionados con la biodiversidad, ecología, oceanografía y climatología de la zona (Fig. 2).



**Figura 2.** Diagrama de flujo del proceso de filtrado que se aplicó a los documentos encontrados en las bases de datos previa revisión sistemática.

La búsqueda en las bases de datos se realizó siguiendo el siguiente algoritmo de búsqueda: Caribbean Sea OR Guajira AND oceanographic, Guajira AND upwelling, Guajira AND Caribbean Jet, Guajira AND Climatology. La selección de los documentos se fundó en aquellos que cumplieran estrictamente con el algoritmo de búsqueda, que estuvieran en inglés y español. Los documentos repetidos en cada base de datos no fueron tenidos en cuenta y, posteriormente, se creó una matriz con los artículos seleccionados que permitió realizar la comparación entre los años de publicación, las bases de datos y los temas abordados. Adicionalmente, se realizó un análisis bibliométrico de los artículos seleccionados en la base de datos Scopus empleando el software VOSviewer, de acceso libre para analizar y visualizar la literatura científica a través de redes bibliométricas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis bibliométrico

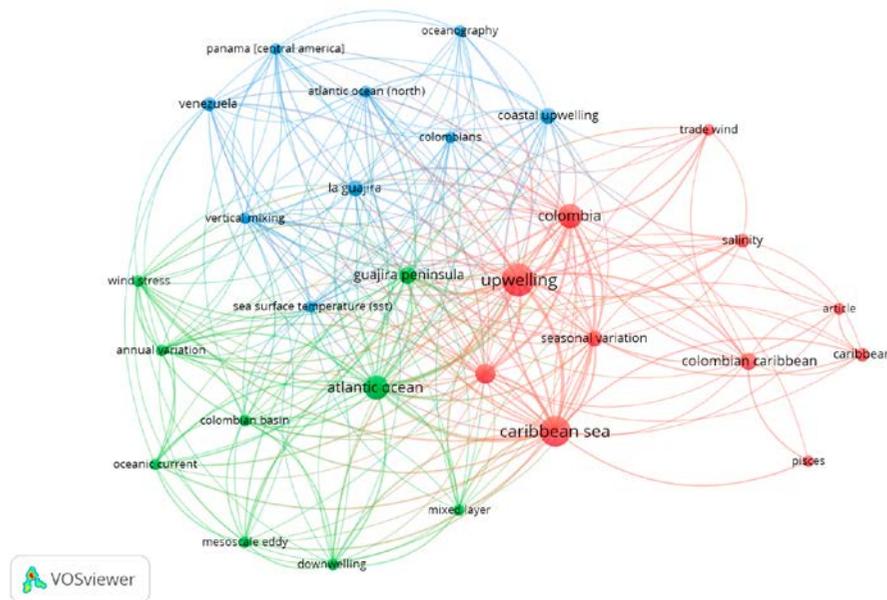
La búsqueda sistemática arrojó un total de 306 publicaciones relacionadas con procesos climatológicos y oceanográficos del Caribe colombiano y La Guajira. Al realizar el proceso de filtración, según los criterios de selección, se obtuvieron un total de 85 publicaciones disponibles en las tres bases de datos seleccionadas. Finalmente, se revisaron detenidamente estas publicaciones, evaluando si estaban o no relacionadas y eran relevantes con el objetivo de este trabajo, seleccionando así un total de 18 publicaciones (Tabla 1).

**Tabla 1.** Artículos seleccionados después del proceso de filtración.

Autor	Año	Nombre de la publicación	Base de datos
Alonso del Rosario, J. Vidal, J.; Blázquez, E.	2021	The Upwelling of the Colombian Caribbean Coasts: Remote Sensing, Morphology, and Influence on the Lake Maracaibo	Scopus
Torregroza-Espinosa, A. Restrepo, J.; Escobar, J. Pierini, J.; Newton, A.	2021	Spatial and temporal variability of temperature, salinity and chlorophyll-a in the Magdalena River mouth, Caribbean Sea	Science Direct
Orfila, A.; Urbano, C.; Sayol, J.; González-Montes, S. Cáceres-Euse, A.; Hernández, I.; Muñoz, A.	2021	On the Impact of the Caribbean Counter Current in the Guajira Upwelling System	WoS
Correa-Ramírez, M.; Rodríguez, A.; Ricaurte-Villota, C. Paramo, J.	2020	The Southern Caribbean upwelling system off Colombia: Water masses and mixing processes	Scopus
Alonso del Rosario, J; Vidal, L.; Blázquez, E.	2019	On the prediction of upwelling events at the colombian caribbean coasts from modis-SST imagery	Scopus
Montoya-Sanchez, R.; Devis-Morales, A.; Bernal, G.; Poveda, G.	2018	Seasonal and intraseasonal variability of active and quiescent upwelling events in the Guajira system, southern Caribbean Sea	Science Direct
Beier, E.; Bernal, G.; Ruiz-Ochoa, M.; Barton, E.	2017	Freshwater exchanges and surface salinity in the Colombian basin, Caribbean Sea	WoS
Bastidas-Salamanca, M.; Ordóñez-Zúñiga, A.; Ricaurte-Villota, C.	2016	Events of wind intensification and relaxation in the Bay of Santa Marta (Colombian Caribbean): Oceanographic implications	Scopus
Santos, F.; Gómez, M.; Varela, R.; Ruiz-Ochoa, M.; Días, J.	2016	Influence of upwelling on SST trends in La Guajira system	WoS

Autor	Año	Nombre de la publicación	Base de datos
Bernal, G.; Osorio, A.; Urrego, L.; Peláez, D.; Molina, E.; Zea, S.; Montoya, R.; Villegas, N.	2016	Occurrence of energetic extreme oceanic events in the Colombian Caribbean coasts and some approaches to assess their impact on ecosystems	Science Direct
Alonso del Rosario, J. Blázquez, E.; Isaza-Toro, E.; Vidal, J.	2015	Internal structure of the upwelling events at Punta Gallinas (Colombian Caribbean) from modis-sst imagery	Science Direct
Sarmiento-Devia, R.; Vásquez, Á.; Mejías, M. Dávila, P.; Franco-Herrera, A.	2014	Variabilidad intra-anual del régimen climático en sectores de surgencia en el sudeste del Mar Caribe, usando ERA Interim.	WoS
Jouanno, J.; Sheinbaum, J.	2013	Heat Balance and Eddies in the Caribbean Upwelling System	WoS
Ruiz-Ochoa, M.; Beier, E.; Bernal, G.; Barton, E.	2012	Sea surface temperature variability in the Colombian Basin, Caribbean Sea	Science Direct
Lonin, S.; Hernández, J. Palacios, D.	2010	Atmospheric events disrupting coastal upwelling in the southwestern Caribbean	WoS
Arévalo-Martínez, D. Franco-Herrera, A.	2008	Características oceanográficas de la surgencia frente a la ensenada de Gaira, departamento de Magdalena, época seca menor de 2006	Science Direct
Andrade, C.; Barton, E.	2005	The Guajira upwelling system	Science Direct
Páramo, J.; Quiñones, R.; Ramírez, A.; Wiff, R.	2003	Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information	WoS

Para la búsqueda realizada en la base de datos Scopus, el análisis bibliométrico incluyó la representación de la coocurrencia de palabras clave en el programa VOSviewer (Fig. 3).



**Figura 3.** Análisis bibliométrico por coocurrencia de palabras clave para los resultados Scopus.

En esta gráfica los nodos (círculos de colores) representan la característica seleccionada (palabras clave). La ubicación y el tamaño de los nodos tienen significado; por ejemplo, un nodo con mayor tamaño representa mayor presencia de dicha palabra clave, indicando que se han investigado mucho más que las otras entre los artículos encontrados en la base de datos. Para el caso particular de esta búsqueda, los nodos de mayor tamaño corresponden con "upwelling", "Caribbean Sea" y "Colombia", los cuales hacen referencia al área de estudio.

Adicionalmente, se identifican tres colores en la figura (verde, azul y rojo). Esta agrupación por color se denomina clúster y corresponde al conjunto de nodos que se han investigado de manera común, lo que representa grandes temáticas agrupadas que pueden ser estudiadas de manera simultánea. Para el caso de la base de datos Scopus evaluada y, excluyendo las palabras asociadas con áreas geográficas, el clúster azul engloba las temáticas de afloramiento costero, mezcla vertical y temperatura superficial del mar; el verde incluye estrés del viento, variación anual, circulación (eddies y corrientes) y capa de mezcla, y el rojo, incluye vientos, salinidad, estacionalidad y peces. A partir de este análisis gráfico es posible identificar el predominio de estudios en temas físicos, asociados con oceanografía y meteorología, y pocos o casi nulos, los asociados con aspectos biológicos, lo que representa un primer indicio de oportunidad de investigación.

Es importante tener presente que la base de datos Scopus incluye artículos científicos publicados en revistas indexadas y no incluye literatura gris (informes, tesis, libros, memorias de eventos), la cual, eventualmente, puede contener investigaciones que aporten al conocimiento oceanográfico, climático y de biodiversidad que se escapan del presente análisis.

## **FACTORES OCEANOGRÁFICOS MODULADORES DE LA BIODIVERSIDAD**

### ***Proceso de surgencia de La Guajira***

El proceso de surgencia es un fenómeno oceanográfico donde la interacción de vientos costeros y corrientes provocan el ascenso de aguas profundas y, de esta manera, nutrientes del fondo del mar, los cuales son impulsados

hasta la zona superficial, donde son aprovechados por organismos fotosintéticos. Por lo tanto, este proceso de afloramiento de productividad favorece a diferentes especies pelágicas (Andrade y Barton, 2005). Este proceso ocurre generalmente en los bordes oeste de los continentes, sin embargo, existen ciertas zonas con condiciones específicas que permiten este fenómeno (Albuquerque *et al.*, 2014).

Además de la importancia asociada al mantenimiento de la red trófica oceánica y por tanto al establecimiento de zonas de alta biodiversidad (Arévalo-Martínez y Franco-Herrera, 2008); a grande escala pueden incluso llegar a regular el balance térmico local, regional e incluso global (England *et al.*, 2014; Jouanno y Sheinbaum, 2013). En el caso de la surgencia de La Guajira, esta es impulsada por los vientos Alisios, el CLLJ y la corriente de Caribe (Alonso del Rosario *et al.*, 2019). El sistema de surgencia del Caribe ha sido estudiado en dos zonas principales: la cuenca occidental (La Guajira, Colombia) y la oriental (Cariaco, Venezuela). En ambas áreas el comportamiento oceanográfico es diferente y los valores de TSM y salinidad varían notoriamente (Montoya-Sánchez, Devis-Morales, Bernal y Poveda, 2018); asimismo, en las dos surgencias costeras la producción pesquera es muy desigual (Gómez y Acero, 2020).

Algunos autores consideran que, comparado con otros procesos de surgencia costeros, el de La Guajira es débil y con baja productividad debido a un proceso de mezcla que ocurre en el giro Panamá-Colombia (Correa-Ramírez *et al.*, 2020). Allí, la influencia de la desembocadura del río Magdalena provoca una dilución de las aguas dulces, ricas en nutrientes y sales en el mar Caribe, lo que induce una reducción en los valores de salinidad, así como la concentración de los nutrientes, lo que contribuye a la baja productividad de este sistema de surgencias (Beier *et al.*, 2017). No obstante, otro autor considera que el proceso de afloramiento es alto gracias a la desembocaduras del río Magdalena, Orinoco y la salida del lago de Maracaibo. Además, que se da un aporte eólico de polvo del desierto de La Guajira, que también nutre las aguas del Caribe (Andrade y Barton, 2005).

El afloramiento en La Guajira es fuerte durante los meses de diciembre a marzo y julio, debido

a que es temporada seca y la intensidad de los vientos es alta, mientras que en la temporada de lluvias de octubre a noviembre los vientos se debilitan, así como la surgencia (Andrade y Barton, 2005; Montoya-Sánchez *et al.*, 2018). Lo anterior concuerda con Alonso del Rosario *et al.*, (2019) y Alonso del Rosario *et al.*, (2015), quienes consideran que el afloramiento de la zona de surgencia es principalmente costero y no se evidencia en mar abierto, además, está fuertemente influenciado por la ZCIT. Cuando se encuentra al sur (diciembre hasta abril-mayo) los vientos Alisios predominan, se intensifica el CLLJ y también la surgencia. Por otro lado, se debilita alrededor de junio-agosto, cuando la ZCIT se encuentra hacia el norte y se presentan las temporadas de lluvias.

De este modo se determina que la zona del Caribe está fuertemente influenciada por los vientos Alisios que inducen el CLLJ, aunque durante todo el año se presentan dos episodios de surgencia en la península de La Guajira. El primero es el más fuerte y se presenta desde octubre-noviembre hasta marzo-abril. El segundo se presenta entre mayo a julio, cuando la ZCIT se encuentra en la zona norte y es mucho más débil (Alonso del Rosario *et al.*, 2021).

### **Temperatura**

Ruiz-Ochoa *et al.*, (2012) encontraron que la influencia de la surgencia de La Guajira se observó en todo el periodo evaluado (1985-2009), pero fue más intenso entre diciembre y febrero. Durante este periodo la temperatura osciló entre 25.5 °C y 29.5 °C, y no hubo diferencia entre los años La Niña o El Niño. De igual forma, lo anterior concuerda con Lonin *et al.*, (2010), Bastidas-Salamanca *et al.*, (2016), Santos *et al.*, (2016), quienes encontraron que durante los tres primeros meses del año la TSM oscila entre 25 °C a 28 °C, asociada a proceso de surgencia; mientras que en la temporada de surgencia debilitada, la TSM se eleva sobre los 28 °C. Sin embargo, Alonso del Rosario *et al.*, (2019) encontraron valores diferentes, estos autores consideran que durante los procesos de surgencia la temperatura varía de 22 °C a 23 °C, y cuando la surgencia se debilita la temperatura oscila entre 28 °C a 29 °C. La anterior discrepancia puede asociarse a que los estudios se realizaron en diferentes años, en los

que además se presentaron fenómenos El Niño o La Niña, que hicieron que los valores medidos fueran diferentes.

### **Clorofila**

Los valores de clorofila se suelen medir en el mar a través de imágenes satelitales provenientes de espectroradiómetros. La clorofila se asocia a una mayor productividad primaria, es decir, que en el medio hay más disponibilidad de nutrientes para ser usados por los primeros eslabones de la cadena trófica en el mar (Roberts *et al.*, 2017). Por ejemplo, Orfila *et al.*, (2021) encontró que entre junio y octubre, cuando el viento está debilitado, los valores de clorofila fueron cercanos a 3 mg·m<sup>-3</sup>; sin embargo, Arévalo-Martínez y Franco-Herrera (2008) hallaron durante la época seca, cuando los vientos son fuertes, las aguas de Caribe exhiben TSM entre 21 °C y 24 °C, con una salinidad entre 36.5 a 37.2 y valores de clorofila de 0.59 mg m<sup>-3</sup>. Por lo tanto, los meses de mayor productividad corresponden con la temporada de lluvias, entre junio y octubre. Por el contrario, cuando la ZCIT se ubica al norte, la concentración de clorofila disminuye durante los meses de abril y mayo (Orfila *et al.*, 2021).

El Caribe colombiano se encuentra influenciado por la descarga de ríos, lo cual ocasiona variaciones en los valores de salinidad, temperatura y clorofila. Torregroza-Espinosa *et al.* (2021), encontraron que en la desembocadura del río Magdalena, la salinidad tiene valores cercanos a 28, la temperatura promedio es de 27.6 °C y los valores de clorofila de 1.5 mg m<sup>-3</sup>. Esto concuerda con los procesos de mezcla descritos por Correa-Ramírez *et al.* (2020), los cuales ocasionan que las condiciones oceanográficas de esta área, con respecto a zonas donde no hay desembocadura, sean diferentes y afecten los procesos de surgencia.

### **Salinidad**

En la zona del giro Panamá-Colombia, la dilución del agua dulce proveniente de los ríos y escorrentías se presenta durante todo el año y hace que los valores de salinidad disminuyan (Torregroza-Espinosa *et al.*, 2021). Mientras que al norte de La Guajira la salinidad aumenta de diciembre a mayo, debido a los procesos de surgencia, donde se pueden obtener valores

cercanos a 36.5 (Sarmiento-Devia *et al.*, 2013). Cuando el Fenómeno El Niño está presente el aumento de los valores de la salinidad ocurre en temporada seca de diciembre a febrero; mientras que en periodos La Niña, cuando inician la temporada de lluvias (entre septiembre y noviembre), cerca de la zona costera de La Guajira los procesos de dilución son mayores (Beier *et al.*, 2017) y, por ende, la salinidad disminuye.

### **Biodiversidad**

Algunos autores mencionan la relación entre los procesos oceanográficos de la zona de interés con la abundancia y distribución de diferentes especies como el arenque del Atlántico Norte (*Opisthonema oglinum*), la sardina escamada (*Harengula jaguana*) y la alacha (*Sardinella aurita*), las cuales tienen una preferencia por ciertas condiciones de salinidad y temperatura, favorecida por procesos de surgencia (Páramo *et al.*, 2003). Algunos organismos planctónicos suelen abandonar el margen continental para desarrollarse en zonas de mar abierto, por lo que dependen estrictamente de los procesos de surgencia que ocurren en las costas para obtener alimento en sus primeras etapas de vida (Andrade y Barton, 2005). Por otro lado, Bernal *et al.* (2016) menciona la importancia de comprender estos procesos oceanográficos con relación a nuestros ecosistemas costeros de manglar, arrecife y playa, para saber cómo se están comportando frente a esos procesos y la manera en la que responden.

Recientemente, Dorado-Roncancio *et al.* (2022) analizaron la distribución de copépodos entre los años 2013 y 2018 encontrando que responde a patrones oceanográficos locales regulados por la variabilidad del oxígeno disuelto y la temperatura en la columna de agua. Empleando datos recolectados en un crucero desarrollado en el año 2008, Lozano, Vidal y Navas (2010) reportaron que existen diferencias espaciales en el Caribe colombiano en cuanto a composición y abundancia porcentual de las especies fitoplanctónicas. Por su parte, Medellín y Martínez (2010), empleando datos del mismo crucero, describieron la distribución del mesozooplancton, indicando que las mayores concentraciones de biomasa y abundancia se encontraron en la zona nororiental y suroccidental del Caribe colombiano, las cuales están relacionadas con la surgencia

y las descargas continentales, así como con el patrón de corrientes superficiales y los eventos de circulación ciclónica.

Las condiciones del fondo marino también cobran relevancia en la biodiversidad del Caribe colombiano. En cuanto a equinodermos, Benavides-Serrato y Borrero-Pérez (2010) identificaron un patrón de distribución batimétrico claro, con cuatro conglomerados de estaciones que podrían ser explicados por la estructura de las masas de agua, corrientes marinas y el tipo de sedimento. Mientras que Trujillo, Sosa y Linero (2009) evidenciaron un efecto débil del tamaño de grano, que conforma el sustrato físico, sobre la distribución espacial de la macroinfauna de La Guajira.

En la actualidad, hay un interés creciente por el potencial en energías renovables con el que cuenta el área de La Guajira, tanto a nivel continental como marino. Se han realizado estudios del recurso eólico en toda la zona costera del Caribe colombiano con datos de alta (Gil, Cañón y Martínez, 2021) y baja resolución temporal (Bastidas-Salamanca y Rueda-Bayona, 2021), y para localidades puntuales como La Guajira (Ochoa, Álvarez y Chamorro, 2019). No obstante, y tal como lo menciona Garavito-Téllez (2020), este tipo de proyectos generan afectaciones ambientales al medio biótico, entre las que se incluyen pérdida de conectividad o fragmentación, pérdida de hábitat o colisiones contra las estructuras, lo cual requiere especial atención por parte de las autoridades ambientales y requerirá en el corto plazo, la realización de estudios puntuales sobre biodiversidad.

### **CONCLUSIONES**

A partir de la revisión realizada se identificó que, en general, se tiene un conocimiento amplio sobre la manera en la que funciona y se comporta el sistema de surgencia de La Guajira. Asimismo, es posible identificar su influencia en las variaciones de salinidad, temperatura y clorofila, según la temporada durante el año. La surgencia es impulsada por los vientos Alisios, el CLLJ y la corriente de Caribe, además de que es influenciada por la ZCIT y su posición que varía según la temporada seca o húmeda durante el año.

A partir de imágenes satelitales, diversos autores han podido establecer los valores de variables de interés y como cambian en el ciclo anual. La temperatura durante los procesos de surgencia es fría oscila entre 25°C y 28°C; cuando la surgencia se debilita, la TSM aumenta a valores por encima de los 28°C. Los valores de clorofila suelen ser más altos durante los procesos de surgencia, pero también pueden variar según la temporada seca o húmeda. Los valores de salinidad son altos (36.5 a 37.2), pero disminuyen en la temporada húmeda o en zonas donde hay desembocaduras de los ríos, debido al proceso de mezcla y dilución.

No obstante, existe un vacío en relación con la surgencia y su impacto sobre la biodiversidad de la zona y los ecosistemas asociados a ella. Es interesante encontrar artículos que mencionan de forma muy breve la importancia del proceso de afloramiento para la diversidad marina, pero se debe entender que el clima y la oceanografía modula la manera en la que las especies se distribuyen. Además, muchas de las especies asociadas a las zonas de surgencia tienen un valor económico alto, lo que debería llamar aún más la atención para realizar investigaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los entes financiadores del proyecto CHARISMA (JEA-IRD-Francia/UMNG-Colombia). Este artículo surgió del proyecto de investigación EXT-CIAS-3638.

## FUENTE FINANCIADORA

Este artículo fue apoyado por el proyecto CHARISMA (JEA-IRD-Francia/UMNG-Colombia). Este artículo surgió del proyecto de investigación EXT-CIAS-3638, financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nueva Granada, vigencia 2021-1, y el Institut de Recherche pour le Développement (IRD-Francia) (JE0ECCHARI).

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: A. R., F. B.; Metodología: A. R.; Software: A. R., F. B.; Análisis: A. R., F. B.; Redacción-preparación del borrador original: A. R.; Redacción-revisión y edición: A. R., F. B. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, A.; Belem, A.; Briceño, F.; Cordeiro, L.; Mendoza, U.; Knoppers, B.; Gurgel, M.; Meyers, P.; Capilla, R. (2014). Particle fluxes and bulk geochemical characterization of the Cabo Frio upwelling system in Southeastern Brazil: sediment trap experiments between spring 2010 and summer 2012. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86: 601-620. <https://doi.org/10.1590/0001-37652014107212> PMID:24838544
- Alonso del Rosario, J.; Blázquez, E.; Isaza-Toro, E.; Vidal, J. (2015). Internal structure of the upwelling events at Punta Gallinas (Colombian Caribbean) from MODIS-SST imagery. *Continental Shelf Research*, 109: 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.09.008>
- Alonso del Rosario, J.; Vidal, J. M.; Blázquez, E. (2019). On the prediction of upwelling events at the Colombian Caribbean coasts from MODIS-SST imagery. *Sensors*, 19(13): 2861. <https://doi.org/10.3390/s19132861> PMID:31252642 PMCID:PMC6651733
- Alonso del Rosario, J.; Vidal, J. M.; Blázquez, E. (2021). The Upwelling of the Colombian Caribbean Coasts: Remote Sensing, Morphology, and Influence on the Lake Maracaibo. En: *Recent Advances in Differential Equations and Control Theory*. 1-18. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61875-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61875-9_1)
- Andrade, C.; Barton, E. (2005). The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25(9): 1003-1022. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.12.012>
- Arévalo-Martínez, D.; Franco-Herrera, A. (2008). Características oceanográficas de la surgencia frente a la ensenada de Gaira, departamento de Magdalena, época seca menor de 2006. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(2): 131-162. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2008.37.2.195>
- Ayala, K.; Gutiérrez, J.; Montoya, E. (2022). Fitoplancton de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano. Diez años de historia. *Biota Colombiana*, 23(1). <https://doi.org/10.21068/2539200x.903>

- Bastidas-Salamanca, M.; Ordóñez-Zúñiga, S.; Ricaurte-Villota, C. (2016). Events of wind intensification and relaxation in the Bay of Santa Marta (Colombian Caribbean): Oceanographic implications. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 45(2): 181-196. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2016.45.2.682>
- Bastidas-Salamanca, M.; Ricaurte, C.; Santamaría del Ángel, E.; Ordóñez, A.; Murcia, M.; Romero, D. (2017). Regionalización dinámica del Caribe. pp 14-31. En: Ricaurte-Villota, C. y M. L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar). Serie de Publicaciones Especiales de Invemar # 14. Santa Marta, Colombia 180 pp.*
- Bastidas-Salamanca, M.; Rueda-Bayona, J. (2021). Pre-feasibility assessment for identifying locations of new offshore wind projects in the Colombian Caribbean. *Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag.* 32: 139-154. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.6710>
- Beier, E.; Bernal, G.; Ruiz-Ochoa, M.; Barton, E. D. (2017). Freshwater exchanges and surface salinity in the Colombian basin, Caribbean Sea. *PLoS one*, 12(8): e0182116. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182116> PMID:28777801 PMCID:PMC5544217
- Benavides-Serrato, M.; Borrero-Pérez, G. (2010). Equinodermos de la plataforma y ka frnaja superior del talud continental del Caribe Colombiano. Pp. 254-281. En: Invemar (Eds.). (2010). Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar. N°. 20 p. 4588.
- Bernal, G.; Osorio, A.; Urrego, L.; Peláez, D.; Molina, E.; Zea, S.; Montoya, R.; Villegas, N. (2016). Occurrence of energetic extreme oceanic events in the Colombian Caribbean coasts and some approaches to assess their impact on ecosystems. *Journal of Marine Systems*, 164: 85-100. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.08.007>
- Bonet-Morón, J.; Hahn-de-Castro, L. (2017). *La mortalidad y desnutrición infantil en La Guajira. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana*, 255. <https://doi.org/10.32468/dtseru.255>
- Cámara de Comercio de La Guajira. (2017). *Informe socioeconómico de La Guajira. Estudio sobre el desempeño económico territorial de La Guajira.*
- Chollett, I.; Mumby, P.; Müller-Karger, F.; Hu, C. (2012). Physical environments of the Caribbean Sea. *Limnology and Oceanography*, 57(4): 1233-1244. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.4.1233>
- Colorado, M.; Moreno, D. (2017). Economía de recursos naturales a partir de la producción de Spirulina (*Arthrospira maxima*) en fotobiorreactores, La Guajira, Colombia. *Retos*, 5(5): 50-59.
- Correa-Ramírez, M.; Rodríguez-Santana, Á.; Ricaurte-Villota, C.; Páramo, J. (2020). The Southern Caribbean upwelling system off Colombia: Water masses and mixing processes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 155: 103145. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.103145>
- Dorado-Roncancio, F.; Medellín-Mora, J.; Mancera-Pineda, J.; Pizarro-Koch, M. (2022). Copepods of the off-shore waters of Caribbean Colombian Sea and their response to oceanographic regulators. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 101(8): 1129-1143. <https://doi.org/10.1017/S0025315422000133>
- England, M.; McGregor, S.; Spence, P., Meehl, G.; Timmermann, A.; Cai, W., Gupta, A.; McPhaden, M.; Purich, A.; Santoso, A. (2014). Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, 4(3): 222-227. <https://doi.org/10.1038/nclimate2106>
- Garavito-Téllez, L. (2020). *Impactos ambientales de los parques eólicos y líneas de transmisión de energía sobre la biodiversidad de áreas protegidas del departamento de La Guajira - Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana. 70 pp.*
- Gil, S.; Cañón, J.; Martínez, J. (2021). Wind power assessment in the Caribbean region of

- Colombia, using ten-minute wind observations and ERA5 data. *Renewable Energy*, 172: 158-176. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.033>
- Gómez, A.; Acero, A. (2020). Comparación de las surgencias de La Guajira colombiana y del oriente venezolano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 49 (2): 131-172. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.2.943>
- Instituto de Investigaciones Marina y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Eds.). 2010. Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar N°. 20 p. 4588.
- Jouanno, J.; Sheinbaum, J. (2013). Heat balance and eddies in the Caribbean upwelling system. *Journal of Physical Oceanography*, 43(5): 1004-1014. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-12-0140.1>
- Lonin, S.; Hernández, J.; Palacios, D. (2010). Atmospheric events disrupting coastal upwelling in the southwestern Caribbean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C6). <https://doi.org/10.1029/2008JC005100>
- Lozano, Y.; Vidal, L.; Navas, G. (2010). La comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano. Pp. 86-118. En: Invemar (Eds.). 2010. *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales Invemar, N°. 20 p. 4588.*
- Martínez, C.; Goddard, L.; Kushnir, Y.; Ting, M. (2019). Seasonal climatology and dynamical mechanisms of rainfall in the Caribbean. *Climate dynamics*, 53(1): 825-846. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04616-4>.
- Medellín, J.; Martínez, O. (2010). Distribución del mesozooplankton en aguas oceánicas del mar Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. Pp. 120-148. En: Invemar (Eds.). 2010. *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar N°. 20 p. 4588.*
- Montoya-Sánchez, R.; Devis-Morales, A.; Bernal, G.; Poveda, G. (2018). Seasonal and intraseasonal variability of active and quiescent upwelling events in the Guajira system, southern Caribbean Sea. *Continental Shelf Research*, 171: 97-112. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.10.006>
- Muller-Karger, F. (2023). La surgencia oceánica - Un fenómeno oceanográfico persistente en la península de La Guajira. *Ciencia e Ingeniería*, 10(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.8091877>
- Muñoz, E.; Busalacchi, A. J.; Nigam, S.; Ruiz-Barradas, A. (2008). Winter and summer structure of the Caribbean low-level jet. *Journal of Climate*. 21: 1260-1276. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1855.1>
- Murcia, M.; Ricaurte, C.; Ordóñez, A.; Bastidas-Salamanca, M. (2017). Región 1: Sistema de La Guajira. Pp. 32-47. En: Ricaurte-Villota, C. y M. L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés". Serie de Publicaciones Especiales de Invemar # 14. Santa Marta, Colombia, 180 pp.*
- Ochoa, G., Álvarez, J.; Chamorro, M. (2019). Data set on wind speed, wind direction and wind probability distributions in Puerto Bolívar-Colombia. *Data in Brief*, 27: 104753. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104753>
- Orfila, A., Urbano-Latorre, C.; Sayol, J.; González-Montes, S.; Cáceres-Euse, A., Hernández-Carrasco, I.; Muñoz, A. (2021). On the impact of the Caribbean counter current in the Guajira upwelling system. *Frontiers in Marine Science*, 8: 626823. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.626823>
- Otero-Cortés, A. (2013). Río Ranchería: entre la economía, la biodiversidad y la cultura. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana. N°. 190*. <https://doi.org/10.32468/dtseru.190>
- Páramo, J.; Quiñones, R.; Ramírez, A.; Wiff, R. (2003). Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. *Aquatic Living Resources*, 16(3): 239-245. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00043-3)

- Roberts, C.; O'Leary, B.; McCauley, D.; Cury, P.; Duarte, C.; Lubchenco, J.; Pauly, D.; Sáenz, A.; Sumaila, U.; Wilson, R.; Worm, B.; Castilla, J. (2017). Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(24): 6167-6175. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701262114> PMID:28584096 PMCID:PMC5474809
- Rueda-Roa, D.; Muller-Karger, F. (2013). The southern Caribbean upwelling system: Sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 78: 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.04.008>
- Ruiz-Ochoa, M.; Beier, E.; Bernal, G.; Barton, E. (2012). Sea surface temperature variability in the Colombian Basin, Caribbean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 64: 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.01.013>
- Santos, F.; Gómez, M.; Varela, R.; Ruiz-Ochoa, M.; Días, J. (2016). Influence of upwelling on SST trends in La Guajira system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(4): 2469-2480. <https://doi.org/10.1002/2015JC011420>
- Sarmiento-Devia, R.; Vásquez, Á.; Mejías, M.; Dávila, P.; Franco-Herrera, A. (2013). Variabilidad intranual del régimen climático en sectores de surgencia en el sudeste del Mar Caribe, usando ERA Interim. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(3): 471-485. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000300006>
- Toro-Tobón, G.; Alvarez-Flórez, F.; Mariño-Blanco, H.; Melgarejo, L. (2022). Foliar Functional Traits of Resource Island-Forming Nurse Tree Species from a Semi-Arid Ecosystem of La Guajira, Colombia. *Plants*, 11(13): 1723. <https://doi.org/10.3390/plants11131723> PMID:35807675 PMCID:PMC9269082
- Torregroza-Espinosa, A.; Restrepo, J.; Escobar, J.; Pierini, J.; Newton, A. (2021). Spatial and temporal variability of temperature, salinity and chlorophyll-a in the Magdalena River mouth, Caribbean Sea. *Journal of South American Earth Sciences*, 105: 102978. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102978>
- Trujillo, C.; Sosa, Z.; Linero, K. (2009). Estructura de la macroinfauna asociada a los fondos blandos del Caribe norte colombiano. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 4(1): 101-112.
- Vásquez, C.; Sullivan, K. (2021). Biodiversity of Upwelling Coastal Systems of the Southern Caribbean Sea Adjacent to Guajira Peninsula. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8): 846. <https://doi.org/10.3390/jmse9080846>
- Wang, C., 2007. Variability of the Caribbean Low-Level Jet and its relations to climate. *Clim. Dyn.* 29: 411-422. <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0243-z>

# Boletín Científico CIOH

Cartagena de Indias, D.T. y C., Colombia  
Vol. 42. Núm. 2. Páginas 3 a 70. Diciembre de 2023

- Oceanopolítica y gobernanza de los océanos: entre la complejidad y la necesidad** **3 - 6**  
Jaime Orlando López de Mesa C.
- Identificación coparticipativa de los impactos derivados del cambio climático sobre los patrimonios culturales marítimos en la isla de Tierra Bomba, Cartagena de Indias, Colombia** **7 - 25**  
Carlos del Cairo Hurtado, Gabriela Caro León, Gina Lorena Hernández Zárate, Liliana Patricia Roza Pinzón, Saúl Esteban Vallejo Quintero, Jesús Alberto Aldana Mendoza, Johann Cuta Jiménez, Laura Victoria Báez Santos
- Análisis del clima marítimo de aguas intermedias y su potencial energético en la zona de influencia de los principales puertos del Caribe colombiano** **27 - 46**  
Claudia Patricia Urbano-Latorre, Claudia Janeth Dagua Paz, Andrés Felipe Camilo Martínez
- La percepción de los usuarios sobre los riesgos costeros. Un estudio de caso práctico en las playas de Mayapo (Caribe colombiano)** **47 - 57**  
Alcides Rafael Daza-Daza
- Factores oceanográficos como moduladores de la biodiversidad en el sistema de surgencia de La Guajira: una revisión sistemática** **59 - 70**  
Aura María Rodríguez Burgos, Francisco Briceño Zuluaga

**Ministerio de Defensa Nacional Dirección General Marítima**  
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe-CIOH  
El Bosque, Isla Manzanillo, Escuela Naval "Almirante Padilla"  
Cartagena de Indias, D.T. y C.  
Teléfono: (605) 669 44 65

Ministerio de Defensa Nacional



Dirección General Marítima  
Autoridad Marítima Colombiana

Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas del Caribe

Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas del Pacífico

[www.cioh.org.co](http://www.cioh.org.co)

[www.cccp.org.co](http://www.cccp.org.co)

[www.dimar.mil.co](http://www.dimar.mil.co)