

# Modelo de asignación y colocación de actividades marítimas para el ordenamiento marino-costero en el departamento de Bolívar, Colombia

## *Allocation and co-location model for maritime activities related to marine and coastal management, Bolívar department, Colombia*

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2022.600>

Fecha de recepción: 2022-06-07 / Fecha de aceptación: 2022-10-18

Fernando Afanador Franco<sup>1</sup>, María Paula Molina Jiménez<sup>2</sup>, Lady Tatiana Pusquin Ospina<sup>3</sup>, María José González Bustillo<sup>4</sup>, Carlos Banda Lapesquer<sup>5</sup>, Yerlis Paola Berrío Reyes<sup>6</sup>, Germán Augusto Escobar Olaya<sup>7</sup>, Iván Fernando Castro Mercado<sup>8</sup>

### CITAR COMO:

Afanador Franco, F.; Molina Jiménez, M. P.; Pusquin Ospina, L. T.; González Bustillo, M.J.; Banda Lapesquer, C.; Berrío Reyes, Y. P.; Escobar Olaya, G. A.; Castro Mercado, I. F. (2022). Modelo de asignación y colocación de actividades marítimas para el ordenamiento marino-costero en el departamento de Bolívar, Colombia. *Bol. Cient. CIOH*; 41(2): 29-57. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2022.600>

### RESUMEN

La tendencia al crecimiento del sector marítimo debido al aumento en la población, al desarrollo urbanístico y a la industrialización, han generado la diversificación de usos en las zonas marino-costeras, causando conflictos por la relación uso/espacio. Por esto la Dirección General Marítima colombiana (Dimar), ha desarrollado una metodología que permite analizar las condiciones futuras para el desarrollo de actividades marítimas en las aguas y costas colombianas, a través del Ordenamiento Marino Costero: Visión de Autoridad Marítima (OMC:VAM), que en su proceso metodológico plantea el modelo de asignación y colocación (MAYC), el cual busca establecer la localización espacial de las áreas más adecuadas para actividades marítimas, teniendo en cuenta criterios técnicos, ambientales y variables de eficiencia/eficacia establecidos por la Dimar, tipo de actividad marítima, disponibilidad y cobertura de la información. El modelo se aplicó en la zona marino-costera del departamento de Bolívar, encontrando, con base en los criterios seleccionados para las diferentes actividades, que un 90 % del área es apta para llevar a cabo actividades de acuicultura, un 84 % es apta para instalación de parques eólicos y un 0.39 % de área es adecuado para construcción de marinas-embarcaderos.

**PALABRAS CLAVE:** ordenamiento marino-costero, asignación, colocación, acuicultura, marinas, parques eólicos.

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0003-4708-3280. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [fernanado.afanador@dimar.mil.co](mailto:fernanado.afanador@dimar.mil.co)

<sup>2</sup> Orcid: 0000-0003-2089-0381. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [mmolina@dimar.mil.co](mailto:mmolina@dimar.mil.co)

<sup>3</sup> Orcid: 0000-0001-8616-8661. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [lpusquin@dimar.mil.co](mailto:lpusquin@dimar.mil.co)

<sup>4</sup> Orcid: 0000-0002-9345-3038. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [mgonzalez@dimar.mil.co](mailto:mgonzalez@dimar.mil.co)

<sup>5</sup> Orcid: 0000-0002-6817-2111. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [cbanda@dimar.mil.co](mailto:cbanda@dimar.mil.co)

<sup>6</sup> Orcid: 0000-0002-0297-6336. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [yberrio@dimar.mil.co](mailto:yberrio@dimar.mil.co)

<sup>7</sup> Orcid: 0000-0002-0605-2069. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo electrónico: [jefcioh@dimar.mil.co](mailto:jefcioh@dimar.mil.co)

<sup>8</sup> Orcid: 0000-0002-6799-5036. Subdirección de Desarrollo Marítimo. Correo electrónico: [icastrom@dimar.mil.co](mailto:icastrom@dimar.mil.co)

## ABSTRACT

*The growth trend of the maritime sector due to the increase in population, urban development and industrialization has generated a diversification of uses in marine and coastal areas, causing conflicts due to the use/space interaction. For this reason, the Colombian General Maritime Directorate (DIMAR in Spanish) has developed a methodology that enables the analysis of future conditions for the development of maritime activities in Colombian waters and coasts, through its Marine and Coastal Management with a Maritime Authority Vision (MCM:MAV), using the Allocation and Co-location Model (MAYC in Spanish), which seeks to establish the most appropriate spatial location for maritime activities, considering technical and environmental criteria and efficiency/effectiveness variables established by DIMAR, depending on the maritime activity type, and the availability and coverage of the information. The model was applied in the marine and coastal area of Bolivar Department, finding, based on the criteria selected for the different activities, that 90 % of the area is suitable to carry out aquaculture projects, 84 % for offshore wind farms, and 0.39 % for the construction of marinas.*

**KEYWORDS:** *marine and coastal management, allocation, co-location, aquaculture, marina, offshore wind farm.*

## INTRODUCCIÓN

Algunos de los factores más importantes en la dinámica de las zonas marino-costeras a nivel mundial y que han incrementado los procesos de cambio, son el rápido crecimiento de la población, el desarrollo urbanístico y la industrialización, lo que genera conflictos por la relación uso/espacio al aumentar las actividades en el sector marítimo (Cicin, Knecht, Knecht, Jang y Fisk, 1998; Jiménez, 2013; Christie, Smyth, Barnes y Elliott, 2014; Rivera, 2018). Estadísticas oficiales demuestran que la mitad de la población activa mundial depende de los océanos, ya que proveen recursos necesarios para suplir sus necesidades, lo que permite el desarrollo de los sectores económicos y, en consecuencia, la generación de millones de empleos (FAO, 2014; Prato y Reyna, 2015).

Se estima que alrededor del 90 % de los productos y servicios son transportados por vía marítima; se prevé que en el año 2030 el comercio industrial marítimo mundial se aumentará de 9 000 millones de toneladas por año a 22 000-24 000 millones de toneladas, es decir una tasa de crecimiento anual aproximada del 3.4 % que generará oportunidades de trabajo a más de 40 millones de personas dentro del sector de la pesca de captura, energía eólica en alta mar, acuicultura marina, actividades portuarias y turismo costero (Shenoi *et al.*, 2015; OCDE, 2016; PWC, 2015; Unctad, 2019). Colombia no es ajena a este auge, sus conexiones, desarrollo y facilidad comercial la han llevado a ocupar el puesto número 3 a nivel latinoamericano y 34 a nivel mundial, de acuerdo

con el Índice de Conectividad Marítima 2019 que evalúa a 171 países, esto debido a que cuenta con acceso a los océanos Atlántico y Pacífico, lo que le aporta una ventaja competitiva frente a las exportaciones marítimas (CCO, 2015; Dimar, 2019a; Unctad, 2019; DNP, 2020).

Dentro del contexto de intereses marítimos, los tomadores de decisiones a nivel mundial se ven enfrentados a problemas que requieren de una atención inmediata y que no se pueden solucionar únicamente analizando las condiciones actuales; es por esto que la planificación permite crear diferentes escenarios futuros con diferentes perspectivas para la acción oportuna de los gobiernos a partir de la formulación e implementación de políticas públicas que controlen el crecimiento y desarrollo de las actividades marítimas a nivel mundial (Ehler y Douvere, 2009; Marczak, Engelke, Bohl y Saldarriaga, 2016; McGowan, Jay y Kidd, 2019).

Ante la necesidad de generar un proceso de ordenamiento que permita identificar y cuantificar los diferentes usos y/o actividades que se llevan a cabo en el área marino-costera, la Dimar lleva a cabo este proceso a través del Ordenamiento Marino Costero: Visión de Autoridad Marítima (OMC:VAM), con el fin de lograr la consolidación del país como una potencia bioceánica, bajo un enfoque holístico y de seguridad integral marítima, fluvial y portuaria, garantizando los principios ecológicos, económicos y sociales (Dimar, 2019b; Afanador, Molina, Pusquin, Escobar y Castro, 2019).

En el OMC:VAM, dado el crecimiento paulatino de las actividades económicas en torno al sector marítimo en Colombia, se establece una metodología basada en seis etapas: establecimiento de elementos de gobernanza, preplaneación, análisis de condiciones actuales relacionadas con conflictos, análisis de condiciones futuras, divulgación, evaluación y retroalimentación (Afanador *et al.*, 2019). El análisis de condiciones futuras de usos/actividades se lleva a cabo a través del Modelo de Asignación y Colocalización (MAYC), con el propósito de optimizar el uso del espacio marino-costero, considerando los diferentes componentes relacionados con el recurso humano y natural, de tal forma que sea eficiente en los posibles escenarios de gestión futura, con el fin de evaluar y minimizar los conflictos.

La aplicación de este modelo dentro del OMC:VAM permite establecer la localización espacial más adecuada de usos/actividades futuras en la zona marino-costera del departamento de Bolívar, buscando generar importantes beneficios y oportunidades para mejorar la calidad de vida de las personas (Vanclay, Esteves, Aucamp y Franks, 2015; Kvam, 2018; Afanador *et al.*, 2019).

## ÁREA DE ESTUDIO

El modelo MAYC se aplicó entre la población de Galerazamba y el Caño Matunilla en el departamento de Bolívar, Caribe colombiano, incluyendo el archipiélago de Islas del Rosario (Fig. 1), con una extensión de línea de costa de 529.86 km en la zona A (que comprende desde el límite de los bienes de uso público establecido por la Dimar hasta 12 mn) y la Zona B (desde las 12 mn hasta las 200 mn).

En el Caribe colombiano los patrones de viento, oleaje y clima dependen de la dinámica de los vientos Alisios del NE, regida por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) (Poveda *et al.*, 2002). En el periodo de verano del hemisferio norte, los vientos Alisios disminuyen su intensidad y finalizan al alejarse del norte de Suramérica el anticiclón que los origina, la atmósfera restablece su estratificación normal e inicia la época de lluvias. Las precipitaciones a menudo presentan un pequeño pico entre los meses de mayo y junio, y una época lluviosa donde predominan las aguas calmas (agosto a noviembre), con un máximo de lluvia entre los meses de octubre y noviembre (DTCA, 2004; Durango, 2009; Orejarena-Rondón *et al.*, 2019; Urrea, Ochoa y Mesa, 2019).

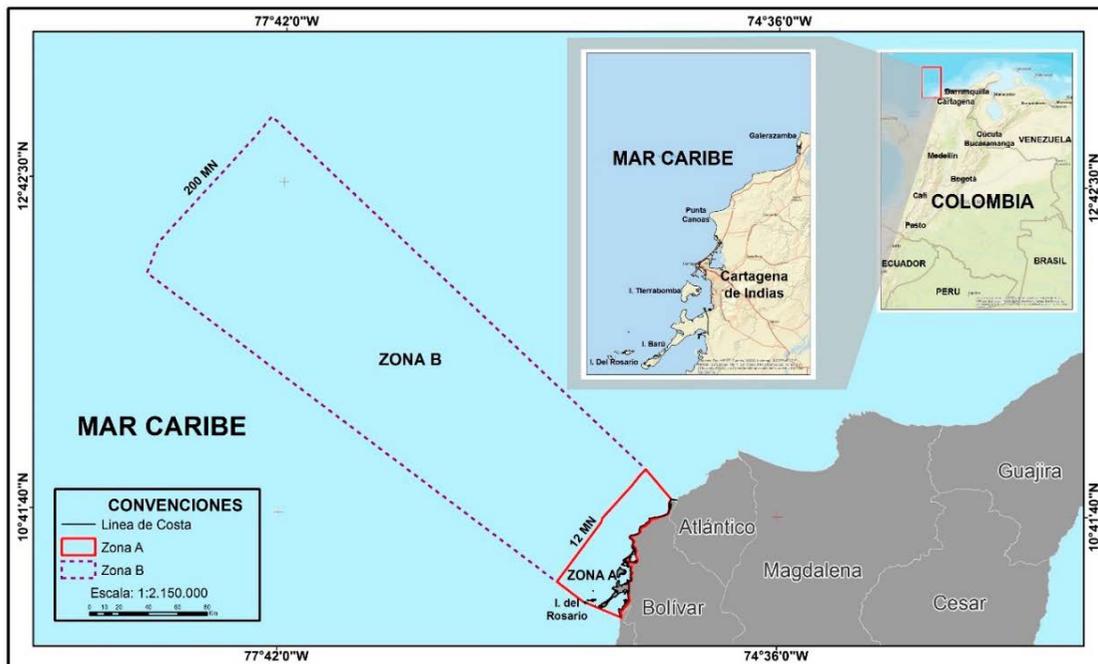


Figura 1. Localización del área de estudio.

Geológicamente el Caribe colombiano está dentro de un ambiente tectónico compresional, ocasionado por la interacción entre la placa continental Suramericana y las placas oceánicas Caribe y Nazca. En el área marina de Colombia la placa Caribe está formada por provincias geológicas en donde sobresalen el promontorio (elevación) de Nicaragua y la Cuenca de Colombia, rodeadas al oeste por el graben (fosa tectónica) de Providencia y al este por la cresta Beata (Trenkamp, Kellogg, Freymueller y Mora, 2002; Audemard y Audemard, 2002; Dimar-CIOH, 2013). La gran mayoría de las rocas que afloran en la subregión Caribe son de origen sedimentario, depositadas en un ambiente de transición marino-continental, plegadas y falladas. Durante la orogenia del Terciario fueron cubiertas por extensos depósitos cuaternarios de origen fluvial, fluvio-marino y lacustre. Las formaciones en la zona principalmente están conformadas por secuencias de areniscas (líticas, cuarzosas), arcillolitas, limolitas, lodolitas, depósitos de playa, coluviales, de llanura costera, calizas pelágicas y hemipelágicas, con edades que oscilan entre el Paleoceno y el Plioceno (Reyes, Guzmán, Barbosa y Zapata, 2001).

En la zona de estudio se han caracterizado unidades geomorfológicas asociadas a costas altas y bajas, representadas por lomas, colinas, terrazas coralinas, terrazas marinas, playas, playones, ciénagas, llanuras costeras y de inundación, respectivamente (Trenkamp *et al.*, 2002; Audemard y Audemard, 2002; Dimar-CIOH, 2013). Adicionalmente, geoformas submarinas definidas desde la plataforma continental (la cual presenta amplitudes variables) hasta la Cuenca Colombia, corresponden a bancos, cañones y canales submarinos, bajos arrecifales, zonas de pendientes bajas a moderadas, con influencia sedimentaria de origen continental por los sedimentos del río Magdalena, asociados principalmente a la dinámica del Canal del Dique (Tabares, Soltau, Díaz, David y Landazabal, 2009).

En el departamento de Bolívar se encuentra la mayor cobertura de arrecifes coralinos del Caribe colombiano localizadas en el archipiélago de Islas de Rosario. Su formación fue hace unos 5 000 años debido a la actividad de un volcán de lodo que ocasionó levantamientos del fondo submarino,

proporcionando las condiciones necesarias para el crecimiento de algas calcáreas, las cuales contribuyen al desarrollo de los arrecifes coralinos, presentando arrecifes franjeantes, de parche, tapetes coralinos y bancos coralinos, con una extensión aproximada de 145.3 km<sup>2</sup> de las cuales 67.6 km<sup>2</sup> corresponden a cobertura coralina viva significativa (Díaz *et al.*, 2000; Alvarado, Pizarro y Sarmiento, 2011; Gómez-Cubillos *et al.*, 2015).

Con relación a los usos/actividades marítimas, la zona de estudio presenta una convergencia de aproximadamente 58 usos/actividades marítimas, primordialmente asociado a que su capital, Cartagena de Indias, es el principal destino turístico del país, donde llegan una alta cantidad de pasajeros nacionales e internacionales por vía aérea, terrestre y marítima. Asimismo, debido a su cercanía con las rutas de comercio marítimo (canal de Panamá) se ubica dentro del mayor nodo de conectividad a nivel mundial. Adicionalmente, cuenta con tres de las empresas más grandes del sector astillero en Colombia y es sede de la segunda refinería de petróleo más importante del país y principal exportador de sustancias químicas, por lo que se considera una ciudad industrializada que contribuye a la economía nacional (Agencia de inversiones de Cartagena de Indias y Bolívar, 2012; Martínez y Malagón, 2014; Cedec, 2018; Afanador *et al.*, 2021).

## METODOLOGÍA

Dentro de la realización del ordenamiento marino costero en aguas y costas jurisdiccionales de Colombia (aguas interiores, mar territorial, zona contigua y zona económica exclusiva) se utiliza el modelo MAYC propuesto por la Dimar (Afanador *et al.*, 2019; Afanador *et al.*, 2021), que a partir del análisis de asignación busca determinar la ubicación geográfica más adecuada para los diferentes usos/actividades marítimas, en concordancia con las tendencias de desarrollo económico, evaluando criterios técnicos y ambientales en zonas libres de usos/actividades, de tal manera que se optimice el espacio, descartando las áreas en las que se encuentran ecosistemas estratégicos como manglares, corales y pastos marinos. Adicionalmente, el análisis de colocalización permite establecer la localización de futuros usos en zonas donde ya se desarrollan otras actividades por medio de criterios de

compatibilidad, con el propósito de reducir los conflictos al nivel más bajo posible (Hennessey y Sutinen, 2005; Farahani y Hekmatfar, 2009; Marine Management Organization, 2013; Lester *et al.*, 2013; Coccoli, Galparsoro, Murillas, Pınarbaş y Fernandes, 2018; Dimar, 2019b; Afanador *et al.*, 2021).

Este modelo es aplicable en tres posibles situaciones que se pueden presentar ante la Autoridad Marítima Colombiana:

- i) Localización espacial preestablecida: en el cual el usuario solicita una concesión para un uso/actividad, haciendo entrega de las especificaciones propias del proyecto, como las coordenadas geográficas de su ubicación y todos los documentos técnicos requeridos en el proceso.
- ii) Localización espacial no conocida: parte del supuesto de que un usuario cuenta

con la información relacionada con las características generales del uso/actividad pero no ha definido su ubicación espacial.

- iii) Análisis en el área actual: en el cual un usuario dispone de la información relacionada con su uso/actividad (coordenadas geográficas), de tal forma que al momento de ubicarlo espacialmente se encuentra en un espacio donde ya se desarrollan otros usos/actividades (Afanador *et al.*, 2019).

Bajo estas tres situaciones se definieron los pasos a seguir (Fig. 2), los cuales muestran un panorama más amplio de las condiciones que inicialmente generan incertidumbre, proporcionando una idea de cómo abordar la ubicación de futuras actividades marítimas desde un enfoque objetivo como soporte técnico para la toma de decisiones (World Energy Council, 2019).

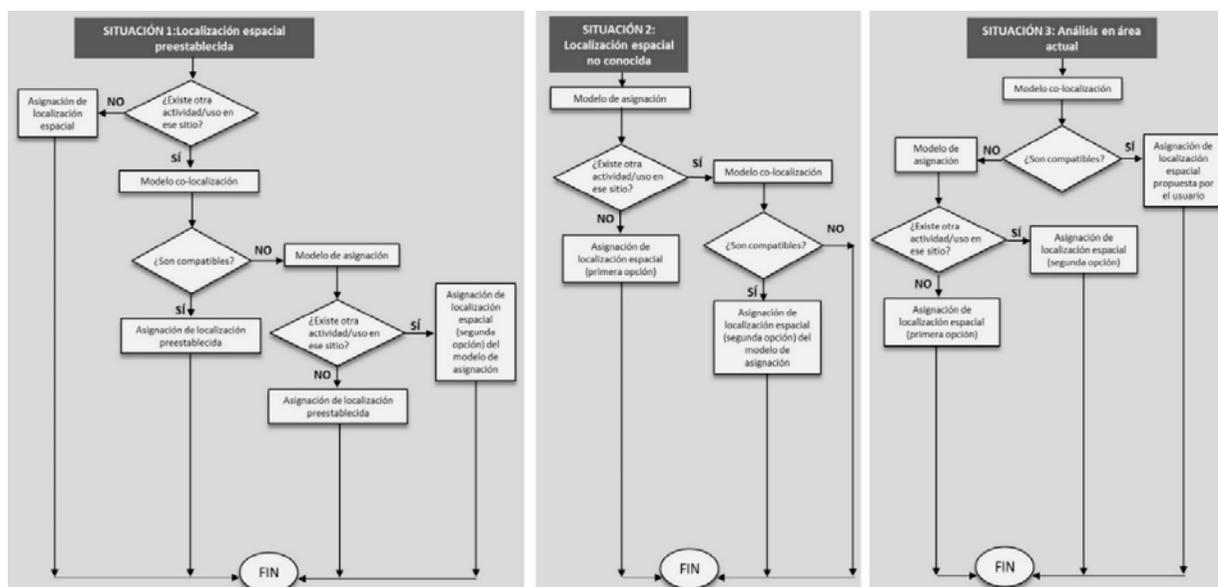


Figura 2. Flujogramas para la aplicación del modelo MAYC en las tres situaciones establecidas por la Dimar.

### Definición de usos para análisis

Los usos y/o actividades escogidos corresponden a acuicultura, marinas-embarcaderos y parques eólicos, que son los que presentan mayor tendencia de desarrollo futuro en términos económicos y sociales (Mincit, 2013; CIOH, 2017; Lee y Zhao, 2020); se consideraron cifras del orden nacional debido a

la proyección del ordenamiento marino costero desde la visión de autoridad marítima y a la poca disponibilidad de información a nivel local. Este análisis se realiza mediante interacciones entre diferentes sectores, actores y tiempo, con el fin de encontrar un crecimiento sostenible entre las actividades y ecosistemas marino-costeros que se vean amenazados por el cambio climático y la explotación excesiva de mares y océanos

(Rodríguez, 2002; International Energy Agency, 2010; Zangrando y Briofies, 2017).

**Acuicultura.** De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), el consumo mundial de pescado comestible aumentó a una tasa media anual del 3.1 % entre 1961 y 2017; tasa que durante el mismo período duplica el crecimiento de la población mundial anual (1.6 %). En 2018 se cultivaron 63.6 millones de toneladas de peces, mientras que su producción de pesca de captura combinada fue de 26 millones de toneladas (Christie *et al.*, 2014; FAO, 2020).

El informe sobre el estado mundial de la pesca y la acuicultura (The State of World Fisheries and Aquaculture - SOFIA 2020), publicado por la FAO en el año 2020, analiza el incremento de la producción y el consumo de productos pesqueros. Se informa que el consumo mundial de pescado per cápita logró un récord de 20.5 kg por año y se espera que para el 2030 el incremento sea de 21.5 kg, en función de la seguridad alimentaria global. Los datos obtenidos muestran que la producción de pescado total va a aumentar a 204 millones de toneladas para el 2030, lo cual es un 15 % más que en el 2018, que indica un aumento de la acuicultura en un 46 %.

En Colombia la acuicultura se desarrolla en aguas dulces y marinas. La producción pesquera total nacional (pesca y acuicultura) en 2017 fue de aproximadamente 187 500 toneladas, de las cuales la acuicultura aportó el 53 %; el recurso humano dedicado a esta actividad se estima en un total de 581 416, de los cuales 105 234 personas trabajan en acuicultura y el resto en diferentes categorías de pesca (FAO, 2019).

**Marinas-embarcaderos.** Un número significativo de marinas-embarcaderos están limitados a poblaciones costeras e insulares que no cuentan con vías de comunicación, por lo que constituyen el único medio para el traslado de productos y personas, cumpliendo una función social en beneficio de las comunidades (Leal, Taborda, Sandoval e Isaza, 2011). En el año 2013 la proyección de crecimiento en Latinoamérica para este tipo

de actividad fue de aproximadamente el 10 % anual; Costa Rica, Panamá y Ecuador fueron los países con el mayor número de marinas en proyecto (Mincit, 2013).

En Colombia las instalaciones náuticas son reducidas en contraste con diferentes países de la región Caribe y Mediterránea, como España e Italia entre otros. Están divididas en públicas (65 %) y privadas (35 %) ubicadas en Atlántico, Bolívar y Valle del Cauca (Mintransporte, 2008; Superpuertos, 2016). Según el Plan Nacional de Turismo Náutico, para el 2013 el país contaba con 26 instalaciones, ocho de ellas ubicadas y avaladas por la Dimar en Cartagena de Indias. Se estima que en Colombia para el año 2028 se construirán once proyectos de marinas que ayudarán a completar la oferta náutica, lo cual significa un crecimiento aproximado del 42 % (Mincit, 2013; CIOH, 2017).

**Parques eólicos.** La energía eólica a nivel mundial se ha convertido en una opción real para generar electricidad. Los parques eólicos tienen la capacidad de proporcionar grandes cantidades de energía a diferentes áreas geográficas. Se considera que este sistema logra reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ya que reemplaza el uso de combustibles fósiles, contribuyendo con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 (Cranmer y Baker 2020; Akhtar, Geyer, Rockel, Sommer y Schrum, 2021; Bastidas-Salamanca y Rueda Bayona, 2021).

Al año 2030 se espera que la energía eólica suministre electricidad a nivel mundial en aproximadamente un 20 %, lo que generaría cerca de 2.4 millones de empleos. De igual manera, se prevé que la capacidad acumulada del mercado eólico marino aumentará de 154 a 193 gigavatios (GW), es decir, un 25 % de más en esta industria (Lee y Zhao, 2020).

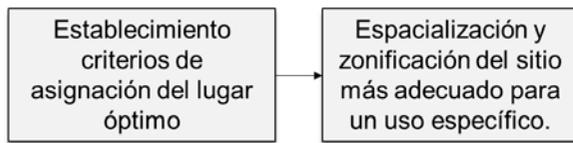
En Colombia existe un gran potencial eólico, de acuerdo con mediciones, estudios e investigaciones realizadas en la costa Caribe, principalmente en el departamento de La Guajira y en algunas zonas en Santander, Boyacá y Huila (Pinilla, 2008). A pesar de ello, la generación de energía eólica en Colombia es de solo el 0.1 %, aunque cuenta con las

condiciones necesarias para la implementación de proyectos a gran escala, esto se debe a diferentes limitantes en aspectos legales, sociales, culturales, económicos y tecnológicos. Sin embargo, en 2014 fue aprobada la Ley 1715 de 2014, que establece incentivos para promover el desarrollo de fuentes alternas de energía y su integración con el mercado energético, esperando aumentar de 1.5 GW a 4 GW para 2030 (MinMinas, 2015; González, 2019).

La Autoridad Marítima Colombiana, en conjunto con el Ministerio de Minas y Energía, realizó la validación de las áreas de interés propuestas por el Banco Mundial en la 'Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia' (The Renewables Consulting Group y ERM, 2022) aplicando el modelo MAYC. Teniendo en cuenta los resultados, se presentó a través de la Resolución No.40284 de 2022 del Ministerio de Minas y Energía y la Dimar el área de nominación para el desarrollo de proyectos de parques eólicos offshore en el Caribe centro colombiano.

### Análisis de asignación

Con el desarrollo y aplicación del modelo de asignación en la zona marino-costera del departamento de Bolívar se pretende generar la zonificación de zonas aptas y medianamente aptas para la ubicación de los usos de acuicultura, marinas-embarcaderos y parques eólicos, de tal manera que se cumplan ciertos criterios técnicos y ambientales para su desarrollo. Este proceso se llevó a cabo ejecutando las etapas que se presentan en la Figura 3.



**Figura 3.** Etapas metodológicas para el análisis de asignación de usos/actividades en áreas libres.

**Establecimiento de criterios de asignación del lugar óptimo.** En este proceso se hace uso de la evaluación multicriterio, tomando

como base criterios y subcriterios establecidos mediante revisión bibliográfica, juicio de expertos y disponibilidad de la información espacial para el desarrollo eficiente de cada uso/actividad, ya que se busca establecer la localización geográfica (en áreas libres de usos/actividades) de los sitios en los cuales se cumplen estas condiciones, de tal forma que se pueda obtener un posible equilibrio entre lo económico, social y ambiental (Farahani y Hekmatfar, 2009; Coccoli *et al.*, 2018).

Una vez identificados los criterios técnicos y ambientales de cada uso/actividad, el cálculo de los pesos de los criterios y los subcriterios se realiza de siguiente forma:

$\forall U_{so_x}$ , sea  $Crit_i$  el criterio  $i$ ésimo que define su localización más adecuada:

$$U_{U_{so_x}} = \{Crit_1, Crit_2, Crit_3, \dots, Crit_n\}$$

Además,  $\forall Crit_i$  existe un  $SCrit_k$  que corresponde a los subcriterios que definen la localización más adecuada del  $U_{so_x}$ :

$$U_{Crit_i} = \{SCrit_1, SCrit_2, SCrit_3, \dots, SCrit_n\}$$

Sea  $W_i Crit_i$  el peso del criterio  $i$ , establecido con base en la revisión literaria disponible sobre criterios para la localización óptima de usos/actividades, definido a partir de:

$$W_i Crit_i = W_i \times Crit_i \quad (\text{Ecu. 1})$$

Para un  $Crit_i$ :

$$\sum_{i=1}^n W_i Crit_i = 1 \times 100 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (\text{Ecu. 2})$$

Donde,  $W_i Crit_i$  cercano a 100 es el criterio más importante para la localización del  $U_{so_x}$ , según lo establecido por el juicio de expertos.

Sea  $Q_k SCrit_k$ , el peso del subcriterio  $k$ , calculado a partir de:

$$Q_k SCrit_k = Q_k \times SCrit_k \quad (\text{Ecu. 3})$$

Para un  $Crit_i$ :

$$\sum_{k=1}^p Q_k SCrit_k = 1 \quad k = 1, 2, 3, \dots, p \quad (\text{Ecu. 4})$$

A partir del juicio de expertos se clasifican los subcriterios en óptimos, medianamente óptimos y no óptimos, donde  $QSCrit_k$  cercano a 1 es el subcriterio óptimo dentro  $Crit_i$ . Sea:

$$RSCrit_k = W_i Crit_i \times Q_k SCrit_k \quad \text{(Ecu. 5)}$$

Donde,  $RSCrit_k$ , corresponde al peso ponderado del subcriterio  $k$  del criterio  $i$ .

En una matriz cruzada se incluyen todos los criterios de cada uso, con sus respectivos subcriterios óptimos y medianamente óptimos, los pesos ponderados asociados y se realizan intersecciones ( $\cap$ ) iniciales por pareja, usando software de sistemas de información geográfica (SIG) (Tabla 1):

**Tabla 1.** Matriz cruzada de criterios para cada uso/actividad.

		$Crit_1$		$Crit_2$		$Crit_3$		
		$SCrit_1$	$SCrit_2$	$SCrit_1$	$SCrit_2$	$SCrit_1$	$SCrit_2$	
		$RSCrit_k$	$RSCrit_{1,1}$	$RSCrit_{2,1}$	$RSCrit_{1,2}$	$RSCrit_{2,2}$	$RSCrit_{1,3}$	$RSCrit_{2,3}$
$Crit_1$	$SCrit_1$	$RSCrit_{1,1}$	N/A	N/A	$\cap$	$\cap$	$\cap$	$\cap$
	$SCrit_2$	$RSCrit_{2,1}$	N/A	N/A	$\cap$	$\cap$	$\cap$	$\cap$
$Crit_2$	$SCrit_1$	$RSCrit_{1,2}$	$\cap$	$\cap$	N/A	N/A	$\cap$	$\cap$
	$SCrit_2$	$RSCrit_{2,2}$	$\cap$	$\cap$	N/A	N/A	$\cap$	$\cap$
$Crit_3$	$SCrit_1$	$RSCrit_{1,3}$	$\cap$	$\cap$	$\cap$	$\cap$	N/A	N/A
	$SCrit_2$	$RSCrit_{2,3}$	$\cap$	$\cap$	$\cap$	$\cap$	N/A	N/A

Sea A el primer criterio ( $Crit_1$ ), B el segundo criterio ( $Crit_2$ ) y C el tercer criterio ( $Crit_3$ ), de tal manera que:

- $SCrit_{1,A} \cap SCrit_{1,B}$
- $SCrit_{1,A} \cap SCrit_{2,B}$
- $SCrit_{1,A} \cap SCrit_{1,C}$
- $SCrit_{1,A} \cap SCrit_{2,C}$
- $SCrit_{2,A} \cap SCrit_{1,B}$
- $SCrit_{2,A} \cap SCrit_{2,B}$
- $SCrit_{2,A} \cap SCrit_{1,C}$
- $SCrit_{2,A} \cap SCrit_{2,C}$
- ⋮
- $SCrit_{n,m} \cap SCrit_{p,q}$

Donde,  $SCrit_{n,m}$  es el subcriterio  $n$  del criterio  $m$  intersectado con el  $SCrit_{p,q}$  que corresponde al subcriterio  $p$  del criterio  $q$  para un  $Uso_x$ .

Para cada intersección:

$$I = RSCrit_{n,m} + RSCrit_{p,q}$$

Donde,  $I$  es la suma de los pesos ponderados de cada intersección,  $RSCrit_{n,m}$  es el peso ponderado del subcriterio  $n$  del criterio  $m$  y  $RSCrit_{p,q}$  es el peso ponderado del subcriterio  $p$  del criterio  $q$ .

**Espacialización y zonificación del sitio más adecuado.** Las intersecciones obtenidas representan los espacios geográficos en donde se presenta la ocurrencia de dos subcriterios para la definición de los sitios más adecuados para la localización de un  $Uso_x$ :

$\forall SCrit_k$ : Se considera como óptimo el que tenga el mayor peso.

Se considera como no óptimo el subcriterio que tenga el menor peso.

El o los medianamente óptimos serán los demás subcriterios del criterio.

Si la intersección se efectúa entre dos subcriterios clasificados como óptimos, su categoría para efectos de zonificación se considera apta. En los casos en los que la intersección se lleve a cabo entre dos subcriterios clasificados como óptimo y medianamente óptimo, su categoría para efectos de zonificación se considera medianamente apta. Del mismo modo, si la intersección se lleva a cabo entre dos subcriterios clasificados como medianamente óptimos, se considera medianamente apto (Tabla 2).

**Tabla 2.** Categorización de las intersecciones de los subcriterios de cada uso/actividad.

Intersección	Categoría adoptada
Óptimo $\cap$ Óptimo	Apto
Óptimo $\cap$ Medianamente óptimo	Medianamente apto
Medianamente óptimo $\cap$ Medianamente óptimo	Medianamente apto

Finalmente, si se llegaron a presentar intersecciones por parejas entre diferentes zonas (aptas y/o medianamente aptas), la clasificación final de la nueva intersección resultante se efectuará en función del valor del peso ponderado de cada intersección inicial. Es decir, si por ejemplo se intersecan dos zonas: una apta (con peso ponderado de 0.35) y una medianamente apta (con peso ponderado 0.25), la clasificación de la nueva intersección resultante será zona apta, ya que la intersección inicial apta tiene el mayor peso ponderado. Adicionalmente, si se tiene un área en donde solo se intersecan todos los subcriterios aptos se clasificará como una zona muy apta.

## Análisis de colocalización

Por otra parte, el modelo de colocalización busca establecer la ubicación de usos/actividades en zonas donde ya existen otros (Marine Management Organization, 2013), a través de la determinación de criterios de compatibilidad (Hennessey y Sutinen, 2005), los cuales se definen a partir de una revisión del estado del arte en lo relacionado con los efectos positivos y/o adversos entre cada par de usos, de tal forma que la intensidad del conflicto se minimice de acuerdo a su categoría (Afanador *et al.*, 2019). Para el área de estudio se realizó un ejercicio hipotético en el cual se evalúa la solicitud de un proyecto de acuicultura en donde actualmente se desarrollan los usos de marinas-embarcaderos y un parque eólico, teniendo en cuenta las siguientes etapas (Fig. 4):



**Figura 4.** Etapas metodológicas para el análisis de colocalización de usos/actividades.

### Establecimiento de criterios de compatibilidad/incompatibilidad

Este análisis se realiza por pares de usos, construyendo dos matrices, la primera de criterios técnicos y ambientales (establecidos en el análisis de asignación con el respectivo peso del criterio) y la segunda teniendo en cuenta variables que permitan el desarrollo eficiente y eficaz de cada uso.

- Matriz de criterios técnicos y ambientales:

Sea  $U_x$ , el uso al cual se le realiza el análisis de colocalización.

Sea  $U_1, U_2, U_3... U_n$ , la totalidad de los usos que actualmente ocupan un espacio geográfico.

Para cada uso se toman los criterios aptos establecidos en el análisis de asignación con sus respectivos pesos.

Se elabora una matriz de criterios técnicos y ambientales entre el  $U_x$  y el  $U_n$  (Tabla 3) y se califica por filas, teniendo en cuenta la escala de Hennessey y Sutinen (Tabla 4), estableciendo si cada subcriterio del  $U_x$  es compatible o incompatible con cada subcriterio del  $U_n$ , lo anterior se explica en una matriz de justificación.

**Tabla 3.** Matriz de criterios técnicos y ambientales entre el  $U_x$  y el  $U_n$ .

USO		$W_i Crit_i$	$U_n$								
			$Crit_{t,1}$	$Crit_{t,2}$	$Crit_{t,3}$	$Crit_{t,n}$	$Crit_{a,1}$	$Crit_{a,2}$	$Crit_{a,3}$	$Crit_{a,n}$	
$U_x$	Criterios Técnicos ( $Crit_t$ ) $\sum_{t=1}^n W_t Crit_t$	$Crit_{t,1}$	$W_t Crit_{t,1}$								
		$Crit_{t,2}$	$W_t Crit_{t,2}$								
		$Crit_{t,3}$	$W_t Crit_{t,3}$								
		$Crit_{t,n}$	$W_t Crit_{t,n}$								
	Criterios Ambientales ( $Crit_a$ ) $\sum_{a=1}^n W_a Crit_a$	$Crit_{a,1}$	$W_a Crit_{a,1}$								
		$Crit_{a,2}$	$W_a Crit_{a,2}$								
		$Crit_{a,3}$	$W_a Crit_{a,3}$								
		$Crit_{a,n}$	$W_a Crit_{a,n}$								

Sea  $W_i Crit_i$  el peso del *criterio*<sub>i</sub> establecido en el análisis de asignación.

Sea  $\sum_{i=1}^n W_i Crit_i$  la sumatoria de los pesos de los criterios técnicos y ambientales del  $U_x$ .

Sea  $W_a Crit_a$  el peso del criterio ambiental *a* establecido en el análisis de asignación y  $W_t Crit_t$  ,el peso del criterio técnico *t* establecido en el análisis de asignación

Sea  $\sum_{a=1}^n W_a Crit_a$  la sumatoria de los pesos de los criterios ambientales del  $U_x$  y  $\sum_{t=1}^n W_t Crit_t$  la sumatoria de los pesos de los criterios técnicos del

Para determinar la expresión de compatibilidad/incompatibilidad se elige la  $\sum_{t=1}^n W_t Crit_t$  o  $\sum_{a=1}^n W_a Crit_a$  mayor (Tabla 4).

**Tabla 4.** Escala de compatibilidad/incompatibilidad de Hennessey y Sutinen (2005).

Criterios de compatibilidad	Valor	Expresión compatibilidad/incompatibilidad
Los dos usos se mejoran mutuamente.	1	Compatible
Los dos usos no interfieren el uno con el otro.	0.75 -0.99	Compatible
Un uso puede mejorar al otro.	0.5 -0.749	Condicionamente compatible
Uno de los usos afecta negativamente al otro.	0.25-0.49	Condicionamente incompatible
Los dos usos se afectan negativamente.	0 - 0.249	Incompatible

- Matriz de eficiencia y eficacia:

Sea  $V_x$  la variable de eficiencia y eficacia para el  $U_x$

Sea  $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$  la totalidad de variables de eficiencia y eficacia para cada  $U_n$ .

Se elabora una matriz de variables de eficiencia y eficacia entre el  $U_x$  y el  $U_n$  (Tabla 5) y se califica por filas, teniendo en cuenta la escala de Hennessey y Sutinen (Tabla 4), estableciendo si cada variable del  $U_x$  es compatible o incompatible con cada variable del  $U_n$ . Lo anterior se explica en una matriz de justificación (no incluida en el presente artículo).

**Tabla 5.** Matriz de eficiencia y eficacia entre el  $U_x$  y el  $U_n$ .

USO		$W_i V_i$	$U_n$				
			$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_n$	
$U_x$	Variables Eficiencia y Eficacia $V_n$ $\sum_{i=1}^n v_i W_i$	$V_1$	$W_x V_1$				
		$V_2$	$W_x V_2$				
		$V_3$	$W_x V_3$				
		$V_n$	$W_x V_4$				

Sea  $W_i V_i$  el peso de cada variable de eficiencia y eficacia, establecido mediante revisión bibliográfica en donde:

$$\sum_{v=1}^n W_i V_i = 100 \%$$

Para determinar la expresión de compatibilidad/incompatibilidad se elige el  $W_i V_i$  mayor.

- Expresión de compatibilidad/incompatibilidad final:

Para la expresión de compatibilidad/incompatibilidad final entre  $U_x$  y el  $U_n$  se realiza:

$$\bar{X}_t = \frac{\sum_{t=1}^n W_t Crit_t + \sum_{i=1}^n W_i V_i}{2}$$

$$\bar{X}_a = \frac{\sum_{a=1}^n W_a Crit_a + \sum_{i=1}^n W_i V_i}{2}$$

Donde,  $\bar{X}$  es el promedio aritmético de los valores obtenidos de compatibilidad entre criterios técnicos (t) y ambientales (a), y las variables de eficiencia/eficacia de mayor peso. Una vez establecidos los criterios de compatibilidad entre cada par de usos/actividades se realiza un procesamiento empleando herramientas SIG, para determinar espacialmente la zona en la que se puede desarrollar el uso/actividad de forma compatible con los demás usos/actividades presentes en el área geográfica.

## RESULTADOS

### Modelo de asignación

Para desarrollar esta metodología se realizó una revisión bibliográfica para definir los criterios técnicos y ambientales, y de esta forma espacializar las zonas aptas y medianamente aptas para acuicultura, marinas-embarcaderos y parques eólicos *offshore*.

Para esta investigación la Dimar seleccionó los criterios técnicos y ambientales dependiendo del tipo de actividad marítima, disponibilidad y cobertura de la información, teniendo en cuenta que para los usos evaluados no aplican algunos criterios. Los datos oceanográficos como profundidad y corrientes corresponden a promedios multianuales de bases de datos como GEBCO y HYCOM, entre otros; sin embargo, el modelo se puede aplicar para las diferentes épocas climáticas o en periodos de tiempo específicos, adicionalmente en futuros análisis se pueden considerar más criterios.

### Acuicultura

La determinación de las zonas aptas para el desarrollo futuro de la acuicultura se definió utilizando criterios y datos oceanográficos disponibles, fondo marino, periodo de oleaje, altura de ola significativa, corrientes y los posibles efectos sobre los sedimentos (Tabla 6). Para este caso la profundidad no se tuvo en cuenta, debido a que varía dependiendo de las especies que se vayan a cultivar.

**Tabla 6.** Criterios técnicos y ambientales empleados en el establecimiento de las zonas más adecuadas para el desarrollo de acuicultura.

Criterio	Peso del criterio	Subcriterios	Peso del subcriterio	Categoría	* Peso ponderado	Fuente
Tipo de fondo marino	0.20	a) Arenosos	0.5	Apto	0.100	Meindl, 1996; Rojo, 2016; Cardia, Ciattaglia y Corner, 2017; Ivars, 2017; Queensland Government, 2019
		b) Rocosos	0.35	Medianamente apto	0.070	

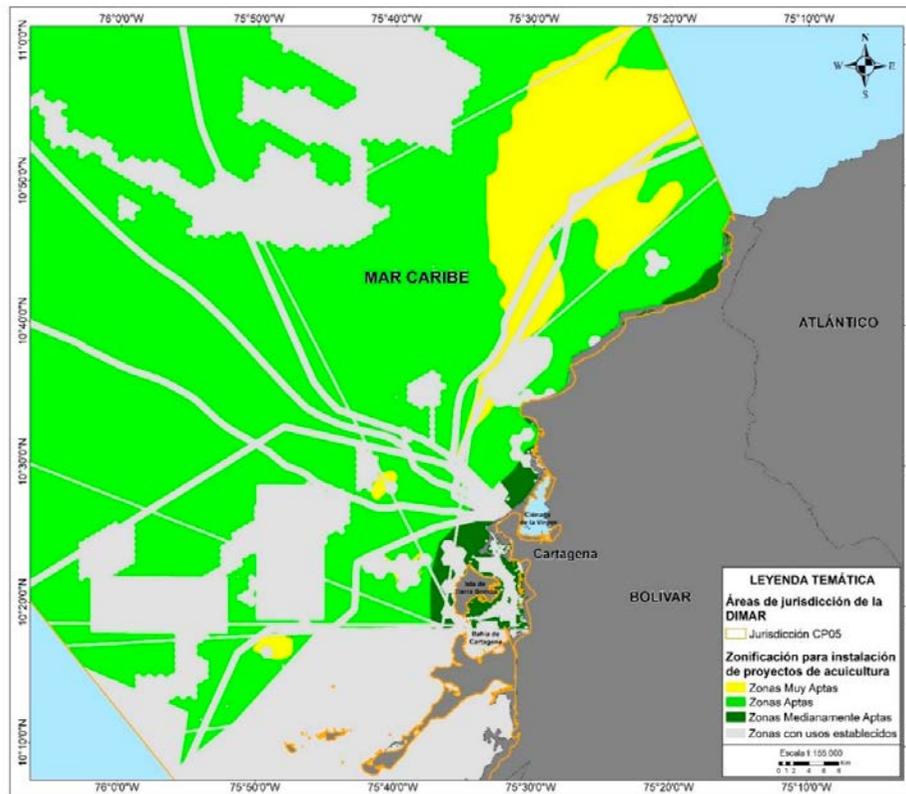
criterio	Peso del criterio	Subcriterios	Peso del subcriterio	Categoría	* Peso ponderado	Fuente
Periodo de oleaje (T)	0.12	a) $1.9 \text{ s} < T \leq 359 \text{ s}$	0.5	Apto	0.060	Munk, 1950 en Palomino, Almazán y Arrayás, 2001; Rubino, 2008; Cavia del Olmo, 2009; Kapetsky, Aguilar y Jenness, 2013; COWI y Ernst, 2013; López y Ruíz, 2015
Altura de ola significativa (Hs)	0.13	a) $0.59 \text{ m} < H_s \leq 6.9 \text{ m}$	0.5	Apto	0.065	Munk, 1950 en Palomino <i>et al.</i> , 2001; Rubino, 2008; Cavia del Olmo, 2009; Kapetsky <i>et al.</i> , 2013; COWI y Ernst, 2013; López y Ruíz, 2015
Velocidad de la corriente (Wc)	0.25	a) $0.13 \text{ m/s} < W_c \leq 1 \text{ m/s}$ (Media)	0.5	Apto	0.125	Milne, 1976; Carroll, Cochrane, Fieler, Velvin y White, 2003; Stigebrandt, 2011; Kapetsky <i>et al.</i> , 2013; COWI y Ernst, 2013; López y Ruíz, 2015
		b) $0 \text{ m/s} \leq W_c \leq 0.13 \text{ m/s}$ (Lenta)	0.35	Medianamente apto	0.087	
Destrucción directa	0.30	a) Sedimentos	0.4	Apto	0.120	Handy y Poxton, 1993; Boyd, 1995; FAO, 2006; Pérez, García, Invers y Ruiz, 2008; Herbeck, Unger, Wu y Jennerjahn, 2013; Rabasso, 2016

\*peso ponderado=peso del criterio x peso subcriterio

Una vez espacializados los diferentes criterios, se realizan intersecciones entre pares y a partir del peso ponderado de cada una de ellas se obtienen las zonas aptas y medianamente aptas para la ubicación (Figura 5).

### Marinas-embarcaderos

Para la ubicación óptima de las marinas-embarcaderos se establecieron los criterios de periodo de oleaje, altura de ola significativa, corrientes, posibles efectos sobre los sedimentos (Tabla 7).



**Figura 5.** Mapa de localización de zonas muy aptas, aptas y medianamente aptas para el desarrollo de acuicultura en el área de estudio.

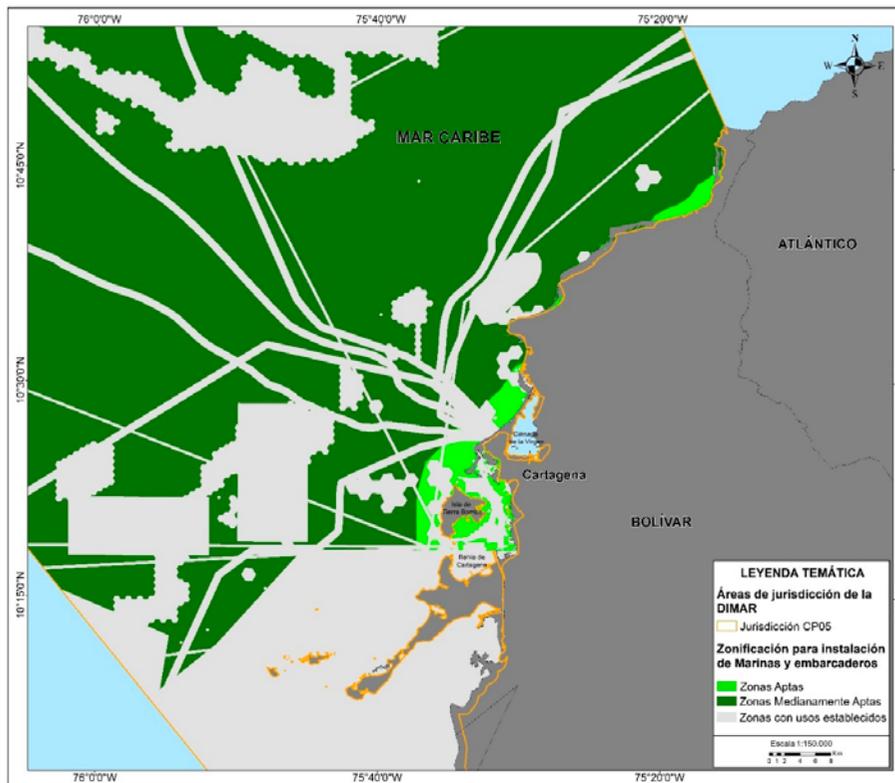
**Tabla 7.** Criterios técnicos y ambientales empleados en el establecimiento de las zonas más adecuadas para el desarrollo de marinas-embarcaderos.

Criterio	Peso del criterio	Subcriterios	Peso del subcriterio	Categoría	*Peso ponderado	Fuente
Periodo de oleaje (T)	0.15	a) $T \leq 1.9$ s	0.5	Apto	0.075	Munk, 1950 en Palomino <i>et al.</i> , 2001; Cavia del Olmo, 2009; Southern Forrest Products Association, 2014; Ocón, 2014; Bellido y Siesquen, 2018
		b) $1.9$ s < $T \leq 359$ s	0.35	Medianamente apto	0.052	
Altura de ola significativa (Hs)	0.20	a) $H_s \leq 0.59$ m	0.5	Apto	0.100	
		b) $0.59$ m < $H_s \leq 6.9$ m	0.35	Medianamente apto	0.070	

criterio	Peso del criterio	Subcriterios	Peso del subcriterio	Categoría	*Peso ponderado	Fuente
Velocidad de la corriente (Wc)	0.30	a) $0 \text{ m/s} \leq Wc \leq 0.13 \text{ m/s}$ (Lenta)	0.5	Apto	0.150	Kapetsky <i>et al.</i> , 2013; Tobiasson y Kollmeyer, 2013; Ocón, 2014
		b) $0.13 \text{ m/s} < Wc \leq 1 \text{ m/s}$ (Media)	0.35	Medianamente apto	0.105	
Destrucción directa	0.35	a) Sedimentos	0.35	Apto	0.122	Schlacher y Schlacher, 1998; Erftemeijer y Lewis, 2006; Yuk y Aoki, 2007; Dosseto, Buss y Chabaux, 2014

\*peso ponderado=peso del criterio x peso subcriterio

La Figura 6 muestra las zonas aptas y medianamente aptas para la ubicación de las marinas-embarcaderos de acuerdo con los criterios analizados.



**Figura 6.** Mapa de localización de zonas aptas y medianamente aptas para el desarrollo de marinas-embarcaderos en el área de estudio.

### Parques eólicos

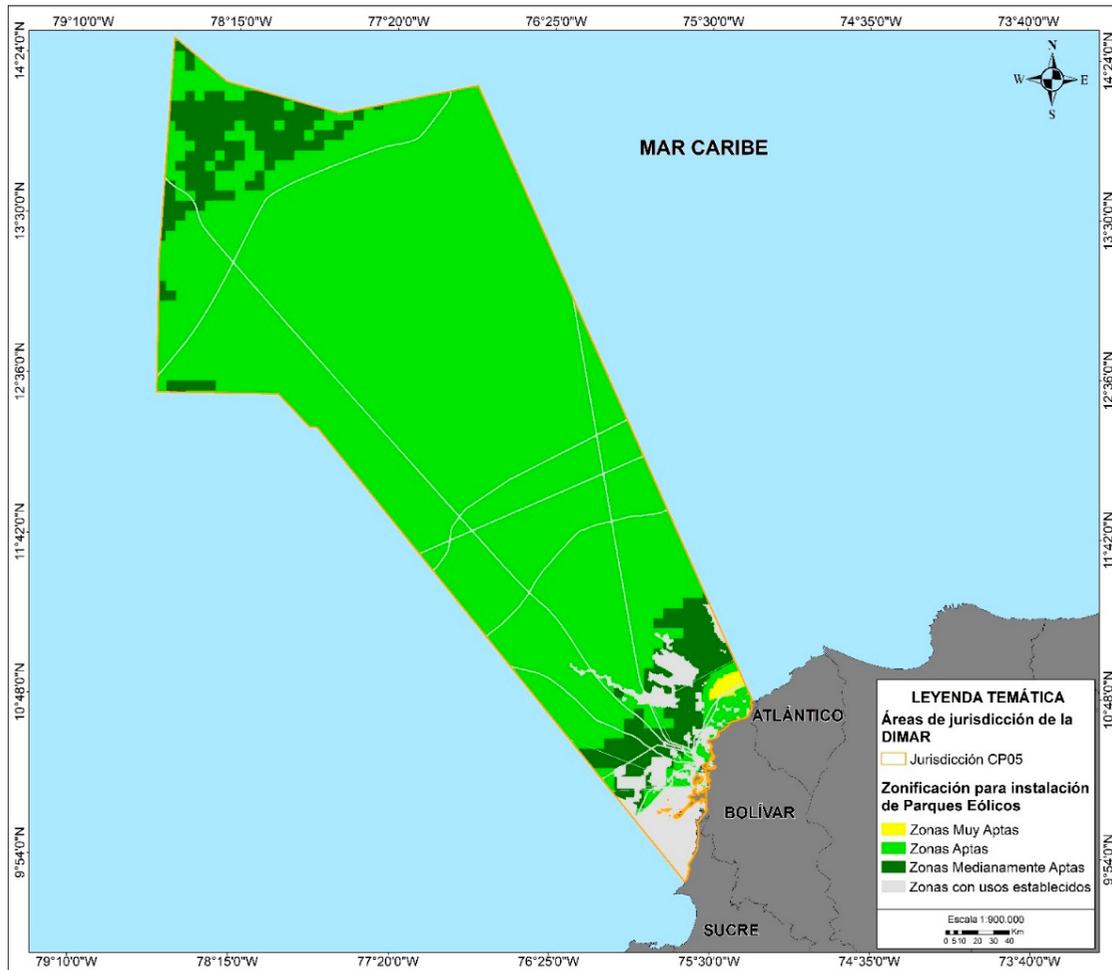
Los criterios utilizados para la ubicación óptima de parques eólicos fueron profundidad, corrientes, altura de ola significativa, velocidad del viento a una altura de 150 m, tipo y pendiente de fondo, además de los posibles efectos sobre los sedimentos (Tabla 8).

**Tabla 8.** Criterios técnicos y ambientales empleados en el establecimiento de las zonas más adecuadas para el desarrollo de parques eólicos.

Criterios	Peso del criterio	Subcriterios	Peso del subcriterio	Categoría	*Peso ponderado	Fuente
Profundidad (P)	0.25	a) 0 m - 60 m	0.7	Apto	0.175	Usón, 2014; Fugro Marine GeoServices Inc., 2017; Vagona y Kamilakis, 2018
		b) > 60 m	0.3	Medianamente apto	0.075	
Tipo de fondo marino	0.12	a) Arenosos	0.5	Apto	0.060	Boehlert y Gill, 2010; Prado, 2018; Xu <i>et al.</i> , 2020
		b) Fangos y Limos	0.35	Medianamente apto	0.042	
Pendiente del fondo marino (Pf)	0.11	a) 0% - 3%	0.5	Apto	0.055	Resolución MinAmbiente, 1995; Malhotra, 2010; Xu <i>et al.</i> , 2020
		b) $3% < x \leq 12%$	0.35	Medianamente apto	0.038	
Velocidad de la corriente (Wc)	0.03	a) 0 - 1,75 m/s	0.7	Apto	0.021	Kapetsky <i>et al.</i> , 2013; González, 2007; Esteban, 2009; Loughney, Wang, Bashir, Armin y Yang, 2021
		b) > 1,75 m/s	0.3	Medianamente apto	0.009	
Altura de ola significativa (Hs)	0.04	a) 0 - 5 m	0.5	Apto	0.020	Loughney <i>et al.</i> , 2021
		b) $5 \text{ m} < H_s \leq 8 \text{ m}$	0.35	Medianamente apto	0.014	
Velocidad del viento (V)	0.28	a) >8 m/s	0.8	Apto	0.224	Baban y Parry, 2001; Sesma, 2020
Destrucción directa	0.09	a) Sedimentos	0.5	Apto	0.045	Mariyasu, 2004; Inger <i>et al.</i> , 2009; Wilhelmsson, 2010
Generación de plumas de sedimentos	0.08	a) Arenas	0.6	Apto	0.048	NOAA, 2007; Vaselli, Bertocci, Maggi y Benedetti-Cecchi, 2008

\*peso ponderado=peso del criterio x peso subcriterio

Las zonas aptas y medianamente aptas para la ubicación de los parques eólicos de acuerdo con los criterios analizados se muestran en la Figura 7.

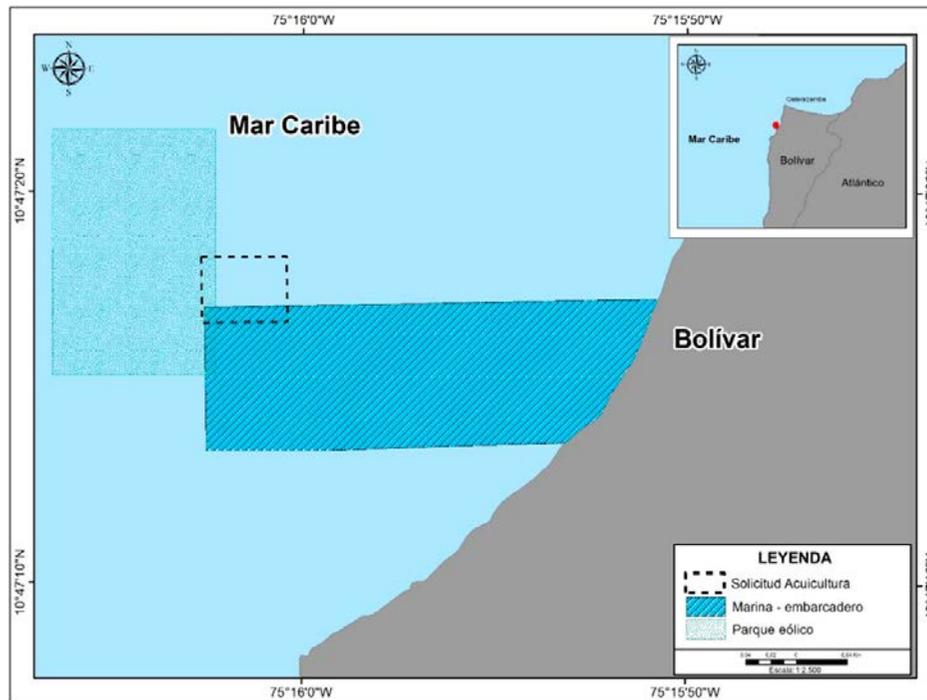


**Figura 7.** Mapa de localización de zonas muy aptas, aptas y medianamente aptas para el desarrollo del uso/actividad de parques eólicos en el área de estudio.

### **Modelo de colocación**

Se aplicó la metodología de colocación con un ejercicio hipotético, en el cual se ubicó un proyecto de acuicultura en una zona categorizada como apta para esta actividad y en donde se llevan a cabo las actividades de marinas-embarcaderos y parques eólicos. Teniendo en cuenta lo anterior,

se evaluaron los criterios técnicos y ambientales (designados en el modelo de asignación) y se definieron variables de eficiencia y eficacia (proximidad a la costa, calidad del agua y vocación turística) entre pares de usos para obtener la expresión de compatibilidad e incompatibilidad entre ellos (Figura 8).



**Figura 8.** Mapa de localización de la solicitud del proyecto de acuicultura (hipotético).

Para este análisis se establecieron los criterios de compatibilidad según Hennessey y Sutinen (2005) (Tabla 4) y empleando juicio de expertos se definió:

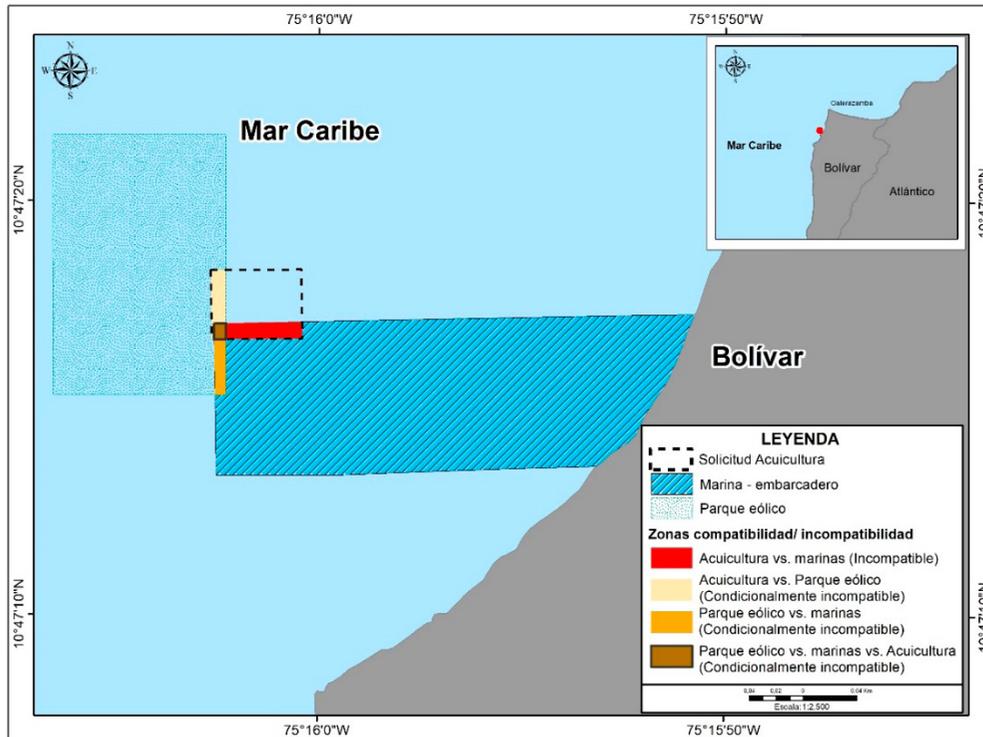
- i) Si existe compatibilidad/incompatibilidad entre los requerimientos mínimos que se necesitan para que se desarrollen los proyectos.
- ii) Si los tres usos se afectan o se benefician en el desarrollo de sus actividades, mediante la evaluación de las variables de eficiencia y eficacia entre cada par de usos (Tabla 9).

**Tabla 9.** Análisis de nivel de compatibilidad de los usos evaluados.

Usos	Valor de compatibilidad/ incompatibilidad			Expresión de compatibilidad/ incompatibilidad
	Subcriterios técnicos y ambientales	Variables de eficiencia y eficacia	Promedio	
Acuicultura vs. marinas-embarcaderos	0	0.25	0.125	Incompatible
Acuicultura vs. parque eólico	0	0.75	0.375	Condicionamente incompatible
Marinas-embarcaderos vs. parque eólico	0	0.75	0.375	Condicionamente incompatible
Acuicultura vs. marinas-embarcaderos vs. parque eólico	0	0.58	0.292	Condicionamente incompatible

De la Tabla 9 se deduce que la acuicultura es incompatible con marinas-embarcaderos y condicionalmente incompatible con parques eólicos. Asimismo, marinas-embarcaderos es

condicionalmente incompatible con parques eólicos. En el sitio en el que se intersectan los tres usos la expresión es condicionalmente incompatible (Figura 9).



**Figura 9.** Mapa de zonas compatibles e incompatibles para el proyecto de acuicultura.

Las expresiones de compatibilidad/incompatibilidad (Tabla 9), definidas mediante juicio de expertos, resultan del promedio entre los valores de compatibilidad de los subcriterios y las variables (establecidas en tabla de Hennessey y Sutinen, 2005), e indican que los subcriterios técnicos y ambientales que se necesitan para que se desarrolle un uso, no son los mismos para los otros dos usos, mientras que algunas de las variables de eficiencia y eficacia si son compatibles o condicionalmente incompatibles.

El modelo MAYC ya está planteado para los usos de acuicultura, marinas-embarcaderos y parques eólicos offshore con los respectivos análisis de asignación y colocación; sin embargo, se deberá realizar un nuevo juicio de expertos en el caso que se integre más información de criterios técnicos-ambientales y las variables de eficiencia-eficacia. Así mismo, al presentarse otros usos/ actividades en el que se analice.

## DISCUSIÓN

La planificación de los espacios marino-costeros requiere de la articulación de diferentes factores espaciales/temporales, y escenarios que permitan llevar a cabo el análisis de asignación y colocación para la ubicación futura de actividades marítimas, de tal manera que se integren aspectos sociales, económicos, normativos, técnicos y ambientales (Ehler, 2008; Ehler y Douvere, 2009; Coccoli *et al.*, 2018; Afanador *et al.*, 2019).

De acuerdo con lo anterior, la Autoridad Marítima Colombiana dentro de su metodología analizó solo los criterios técnicos y ambientales donde se cumplen las condiciones físicas para la selección del sitio más adecuado de usos/ actividades de acuicultura, marinas-embarcaderos y parques eólicos, teniendo en cuenta que esta metodología a futuro puede incluir más criterios

y aspectos económicos, normativos y sociales para las actividades analizadas. Asimismo, evalúa variables de eficiencia y eficacia que permiten establecer la compatibilidad e incompatibilidad entre estos usos. En estas áreas, aunque actualmente no se desarrollen estas actividades, no se descarta que a futuro se puedan realizar este tipo solicitudes en donde los usuarios, dependiendo de sus necesidades y capacidades, deberán estimar los costos de operación y logística.

Diferentes autores han propuesto metodologías que buscan asignar el mejor espacio de desarrollo y productividad de actividades marítimas. Actualmente el sector alimentario de mayor crecimiento es la acuicultura, por tanto, la demanda mundial de productos del mar aumenta e impulsa su estudio, teniendo en cuenta que existen más de 200 especies que pueden ser cultivadas (Calado *et al.*, 2010; FAO, 2015; Lovatelli, Aguilar y Soto, 2013; Rubino, 2008). Por ejemplo, Gentry *et al.*, 2016 propone evaluar una variedad de criterios incluida, la profundidad del agua, la exposición al oleaje y los límites jurisdiccionales para definir la planificación de este uso dependiendo de la diversidad del cultivo y las condiciones ecológicas del área (Holmer, 2010; Kapetsky *et al.*, 2013; Rubino, 2008). Adicionalmente, el empleo de los SIG en el campo de la acuicultura se inicia casi a finales de los años ochenta (Kapetsky, 1989; Stelzenmüller, Gimpel, Gopnik y Gee, 2017), a partir de entonces se han realizado análisis para la ubicación de cultivos teniendo en cuenta una serie de parámetros físicos y químicos como salinidad, profundidad, temperatura, oxígeno disuelto y amoníaco; además, factores como proximidad al agua salobre, vías de comunicación, fuentes de insumos, nivel de bienestar, uso del suelo/vegetación, energía eléctrica, entre otros, que pueden ser específicos para cada especie (Díaz y López, 2000; Hernández, 2017; Ramadhan, Prayitno, Windarto y Herawati, 2021).

En el caso de la acuicultura en el área de estudio, teniendo en cuenta los criterios evaluados, las zonas aptas se encontraron alejadas de la costa, donde las corrientes, periodo de oleaje y altura de ola significativa son moderadas, ya que se facilita el intercambio de agua y el crecimiento de los peces (Carroll *et al.*, 2003; Stigebrandt, 2011; Kapetsky *et al.*, 2013; Saling, Gyuzeleva,

Wittstock, Wessolowski y Griesshammer, 2020; López y Ruíz, 2015). Asimismo, el tipo de fondo arenoso facilita la instalación y estabilidad de la infraestructura del cultivo (Cardia *et al.*, 2017). En términos ambientales, esta actividad genera grandes acumulaciones de materia orgánica como consecuencia de la orina y heces de las especies, causando cambios en la química sedimentaria y en la columna de agua (por presencia de amoníaco, sulfuros y metano), afectando la fisiología de las comunidades bentónicas (Handy y Poxton, 1993; Boyd, 1995; FAO, 2006).

En cuanto a las marinas-embarcaderos, a partir de los criterios analizados, se encontró que su ubicación óptima es cercana a la costa porque se presentan corrientes, altura de ola significativa y periodo del oleaje lentos que ayudan a mantener las estructuras del embarcadero fijas, facilita el ingreso y atracado de los botes y su sistema de amarre (Southern Forrest Products Association, 2014; Bellido y Siesquen, 2018). Los posibles efectos sobre el ambiente se pueden atribuir a los dragados, rellenos litorales y a la construcción de la infraestructura; así como la operación de embarcaciones y dragas que ocasionan pequeños derrames de gasolina, aceites y petróleo que constituyen una fuente de contaminación química para los diferentes ecosistemas (Schlacher y Schlacher, 1998).

Distintos autores han tenido en cuenta una selección de criterios para efectos de su construcción como la proximidad a un área metropolitana, acceso al transporte, descripción física de área (topografía, vegetación, profundidades del agua, usos contiguos, zonificación del sitio) y factores oceanográficos (Tobiasson y Kollmeyer, 2013; Ocón, 2014; Southern Forrest Products Association, 2014; Bellido y Siesquen, 2018).

Por otra parte, la selección de zonas más aptas para parques eólicos están determinadas por condiciones dinámicas que permiten establecer el costo de la instalación y también los sistemas de amarre, fondeo y cableado que se van a utilizar (Usón, 2014; Vagiona y Kamilakis 2018). De igual manera, uno de los criterios más importantes es la velocidad y dirección del viento, la cual logrará el funcionamiento de las turbinas para proporcionar energía eléctrica (Baban y Parry, 2001; Sesma, 2020; Bastidas-Salamanca y Rueda-Bayona, 2021; The Renewables Consulting Group y

ERM, 2022). Los posibles efectos ambientales son causados por las partes sumergidas de las subestructuras eólicas marinas que provocan cambios que pueden tener efectos duraderos en los sedimentos del lecho marino (Mariyasu, 2004). Sumado a esto, para su construcción las arenas son aptas debido a que cuando sufren cualquier alteración física generalmente se recuperan en días o semanas por la acción de las olas y las corrientes (Carter y Lewis, 1995; NOAA, 2007).

Para la ubicación de parques eólicos el uso de herramientas SIG y la aplicación de análisis multicriterio han sido ampliamente utilizadas en el ámbito mundial, teniendo en cuenta criterios técnicos, espaciales, económicos, sociales y ambientales que varían dependiendo el área de estudio, la disponibilidad y calidad de la información (Chaouachi, Covrig y Ardelean, 2017; Díaz *et al.*, 2000; Gavériaux, Laverrière, Wang, Maslov y Claramunt., 2019; Loughney, Wang, Bashir, Armin y Yang, 2020; Bastidas-Salamanca y Rueda-Bayona, 2021; The Renewables Consulting Group y ERM, 2022).

En Colombia diferentes estudios han analizado el potencial eólico en el país, considerando además de los criterios técnicos, variables como topografía, cercanía a centros urbanos, puertos y a áreas protegidas, coincidiendo que el mar Caribe colombiano, principalmente la región centro-norte posee características adecuadas para el desarrollo de este tipo de proyectos (Guerrero-Hoyos, Vélez-Macías y Morales-Quintero, 2019; Pabón, 2019; Carvajal, Valderrama, Rodríguez y Rodríguez., 2019; Bastidas-Salamanca y Rueda-Bayona, 2021). Asimismo, el Grupo del Banco Mundial estructuró una hoja de ruta que establece las áreas de interés para la exploración y estimación de la capacidad eólica en Caribe colombiano (The Renewables Consulting Group y ERM, 2022), las cuales fueron validadas por la Dimar empleando la metodología del modelo MAYC, y en coordinación con el Ministerio de Minas y Energía se estableció, a través de la Resolución 40284 del 2022, el área de nominación para parques eólicos en el Caribe centro.

Adicionalmente, en el análisis de colocalización, la variable de eficiencia y eficacia de proximidad a la costa para los usos de acuicultura y marinas-embarcaderos es necesaria, ya que facilita su funcionamiento y desarrollo económico por medio

del intercambio de bienes y servicios gracias a la accesibilidad de vías, aeropuertos y puertos (Benetti, Benetti, Rivera, Sardenberg y O'Hanlon, 2010; Kapetsky *et al.*, 2013; López y Ruíz, 2015; FAO, 2019). En contraste, los parques eólicos offshore pueden ubicarse alejados de la costa, para evitar que se interponga entre las rutas de tráfico marítimo, instalaciones estratégicas navales y espacios de interés ecológico, entre otros usos/actividades (WWEA, 2017).

El incremento de usos marítimos favorece el desarrollo de metodologías para la colocalización de actividades basadas principalmente en el uso de SIG (Yates, Schoeman y Klein, 2015). Distintos autores han utilizado estas herramientas para encontrar la mejor distribución espacial y compatibilidad en diferentes actividades como pesca, acuicultura, energía renovable, entre otras, con el fin de facilitar la toma de decisiones enfocadas al ordenamiento y planificación (Yates *et al.*, 2015; Di Tullio, Mariani, Benassai, Di Luccio y Grieco, 2018; Kyvelou y Lerapetritis, 2020).

La metodología MAYC es un instrumento de gestión en el cual el establecimiento de zonas aptas es un punto de partida que permitirá a los tomadores de decisiones aprovechar el potencial marino-costero colombiano integrando las variables técnicas y ambientales (establecidas en la metodología aquí propuesta) con los aspectos normativos, económicos y sociales (definidos a futuro por los tomadores de decisiones y que se podrán incluir en el modelo), con el fin de minimizar los conflictos existentes al nivel más bajo posible y asignar de manera óptima la localización de los usos/actividades dentro de un espacio geográfico.

Por lo anterior, es importante tener en cuenta que el modelo deberá articularse con diferentes herramientas de planificación territorial, como planes de ordenamiento territorial, planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, plan de ordenamiento departamental, entre otros, lo cual genera la necesidad de establecer vínculos con diferentes actores (entidades públicas, centros de investigación, la empresa privada y la academia, entre otros) que aporten información y retroalimenten el proceso del ordenamiento marino buscando convertir al país en una potencia bioceánica (DNP, 2020; Afanador *et al.*, 2021).

## CONCLUSIONES

La aplicación de esta metodología se llevó a cabo en las zonas libres de usos/actividades que representan el 93 % del área de estudio, permitiendo identificar, a partir de los criterios analizados, las zonas aptas y medianamente aptas para la ubicación de los usos/actividades de acuicultura, marinas-embarcaderos y parques eólicos, para de igual forma establecer si estas tres actividades se pueden desarrollar en el mismo espacio geográfico mediante análisis multicriterio, uso de herramientas analíticas basadas en SIG, y considerando diferentes criterios técnicos, ambientales y, variables de eficiencia y eficacia.

En el caso de la acuicultura, es el uso con mayor tendencia de crecimiento futuro a nivel mundial y nacional, debido al incremento de la producción y el consumo de productos pesqueros. Teniendo en cuenta lo anterior, es posible ubicar nuevos proyectos acuícolas en el 90.23 % del área de estudio correspondiente a las zonas aptas principalmente alejadas de la costa, en donde las corrientes, el periodo de oleaje y la altura de ola significativa (que pueden cambiar en función de las épocas climáticas del Caribe colombiano) facilitan el desarrollo de esta actividad, considerando la posible variación de estos criterios en función de las épocas climáticas del Caribe colombiano.

Actualmente, a nivel mundial y en Colombia se busca disminuir las emisiones de gases efecto invernadero por medio de la implementación de energías renovables no convencionales, a través de las cuales se pueda generar electricidad. De lo anterior, el área de estudio presenta un 84.18 % de zonas aptas que cumplen con los criterios técnicos y ambientales para la instalación y funcionamiento de proyectos de parques eólicos *offshore*.

Por otra parte, en el área de estudio el 0.39 % cumple con los requerimientos mínimos para la instalación de marinas-embarcaderos, lo cual facilita que esta actividad, que presenta una tendencia de crecimiento a nivel nacional de aproximadamente del 42 % al año 2028, debido al aumento del turismo, pueda ubicarse de manera óptima y sostenible principalmente en zonas cercanas a la costa, en donde las corrientes, altura de ola significativa y periodo del oleaje lentos permiten la construcción y mantenimiento de su infraestructura, así como el tránsito de las embarcaciones.

El MAYC fue aplicado con unos criterios técnicos-ambientales y unas variables de eficiencia-eficacia específicas para este estudio, sin embargo, es posible realizar otros análisis en los que se actualice y se integre más información.

En el ejercicio hipotético del modelo de colocalización, las diferencias entre los criterios técnicos y ambientales analizados de los usos/actividades de acuicultura marinas-embarcaderos y parques eólicos permitieron establecer que no son compatibles, por ende, no se pueden desarrollar dentro de un mismo espacio geográfico, según la metodología establecida.

Finalmente, el MAYC es una herramienta para el ordenamiento del espacio marino-costero por parte de la Autoridad Marítima Colombiana. En este sentido, la información obtenida es un insumo para ser complementando y articulado en los procesos de gestión del territorio desarrollados por las diferentes entidades nacionales, regionales y locales que están relacionadas con los litorales y áreas marinas del país.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Dirección General Marítima por el apoyo y financiación de la presente investigación enmarcada dentro del programa 'Gestión de los litorales colombianos' en el proyecto 'Planificación y ordenamiento de los litorales y áreas marinas colombianas'.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador, F.; Molina, M. P.; Pusquín, L. T.; Escobar, G. A.; Castro I. F., (2019). Conflictos de uso en el proceso de ordenamiento marino-costero: Visión de Autoridad Marítima. *Bol. Cient. CIOH*. 38(1): 27-40. <https://doi.org/10.26640/22159045.2019.507>
- Afanador, F.; Molina, M. P.; Pusquín, L. T.; Guevara, N.; González, M. J.; Martínez, K. I.; Banda, C.; Escobar, G. A.; Castro I. F. (2021). Coastal Marine Planning: Vision of the Maritime Authority. Case of the Department of Bolivar - Colombia. *Revista Costas*, vol. esp., 2: 137-164. DOI: 10.26359/costas. e0721. <https://doi.org/10.26359/COSTAS>

- Agencia de inversiones de Cartagena de Indias y Bolívar. (2012). Cartagena y Bolívar: una ubicación estratégica para el comercio exterior. [http://www2.cccartagena.org.co/sites/default/files/publicaciones/cartagena\\_y\\_bolivar\\_una\\_ubicacion\\_estrategica\\_para\\_el\\_comercio\\_exterior.pdf](http://www2.cccartagena.org.co/sites/default/files/publicaciones/cartagena_y_bolivar_una_ubicacion_estrategica_para_el_comercio_exterior.pdf)
- Akhtar, N.; Geyer, B.; Rockel, B.; Sommer, P. S.; Schrum, C. (2021). Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials. *Scientific reports*, 11(1): 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97055-3>. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91283-3>. PMID:34083704 PMCID:PMC8175401
- Alvarado, E. M.; Pizarro, V.; Sarmiento, A. (2011). Formaciones arrecifales. En: Zarza, E. (ed), *El entorno ambiental del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB)*. Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia. pp. 109-123.
- Audemard, F.; Audemard, F. (2002). Structure of the Merida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, 345, 299-327. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00218-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00218-9)
- Baban, S. M.; Parry, T. (2001). Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable energy*, 24(1), 59-71. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00169-5)
- Bastidas-Salamanca, M.; Rueda-Bayona, J. G. (2021). Pre-feasibility assessment for identifying locations of new offshore wind projects in the Colombian Caribbean. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 32, 139-154.
- Bellido, H.; Siesquen, M. (2018). *Aplicación de la fuerza del oleaje en el diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta, región Callao*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Perú.
- Benetti, D. D.; Benetti, G. I.; Rivera, J. A.; Sardenberg, B.; O'Hanlon, B. (2010). Site selection criteria for open ocean aquaculture. *Marine Technology Society Journal*, 44(3), 22-35. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.3.11>
- Boehlert, G.; Gill, A. (2010). *Environmental and Ecological Effects of Ocean Renewable Energy Development-A Current Synthesis*. *Oceanography*, 23(2), 68-81 <https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.46>
- Boyd, C. E. (1995). Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. *Springer Science & Business Media*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1785-6>
- Calado, H.; Ng, K.; Johnson, D.; Sousa, L.; Phillips, M.; Alves, F. (2010). Marine spatial planning: Lessons learned from the Portuguese debate. *Marine Policy*, 34, 1341-1349.
- Cardia, F.; Ciattaglia, A.; Corner, R. A. (2017). *Guidelines and criteria on technical and environmental aspects of cage aquaculture site selection in the Kingdom of Saudi Arabia*.
- Carroll, M. L.; Cochrane, S.; Fieler, R.; Velvin, R.; White, P. (2003). Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*, 226(1-4), 165-180. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00475-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00475-7)
- Carter, L.; Lewis, K. (1995). Variability of the modern sand cover on a tide and storm driven inner shelf, south Wellington, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 38:4, 451-470. <https://doi.org/10.1080/00288306.1995.9514671>
- Carvajal, G.; Valderrama, M.; Rodríguez, D.; Rodríguez, L. (2019). Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100531>
- Cavia del Olmo, B. (2009). *Explotación del potencial de energía del oleaje en función del rango de trabajo de prototipos captadores (Tesina)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/8720>
- Chaouachi, A.; Covrig, C. F.; Ardelean, M. (2017). Multi-criteria selection of offshore wind farms:

- Case study for the Baltic States. *Energy Policy*, 103, 179-192. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.018>
- Christie, N.; Smyth, K.; Barnes, R.; Elliott, M. (2014). Co-location of activities and designations: A means of solving or creating problems in marine spatial planning?. *Marine Policy*, 43, 254-261. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.06.002>
- Cicin, B.; Knecht, R. W.; Knecht, R.; Jang, D.; Fisk, G. W. (1998). Integrated coastal and ocean management: concepts and practices. Washington, D.C., United States of America. *Island press*.
- Centro de Estudios para el Desarrollo y la Competitividad. (2018). *Coyuntura Económica de Cartagena mayo 2108*. Cedec. [https://www2.ccccartagena.org.co/sites/default/files/publicaciones/cartagena\\_en\\_cifras\\_mayo\\_2018.pdf](https://www2.ccccartagena.org.co/sites/default/files/publicaciones/cartagena_en_cifras_mayo_2018.pdf)
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. (2017). *Guía Náutica Turística de Colombia*. CIOH.
- Coccoli, C.; Galparsoro, I.; Murillas, A.; Pinarbaş, K.; Fernandes, J. (2018). Conflict analysis and reallocation opportunities in the framework of marine spatial planning: A novel, spatially explicit Bayesian belief network approach for artisanal fishing and aquaculture. *Marine Policy* .94:119-131. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.015>
- Comisión Colombiana del Océano. (2015). *Turismo Náutico Proyectos de infraestructura náutica de iniciativa pública*. V Sesión Comisión Colombiana del Océano. CCO.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. (2019). Informe sobre el Transporte Marítimo 2019 Printed at United Nations. Geneva 1917380 (S) – May 2019 – 330. Unctad.
- COWI; Ernst Young. (2013). *Study to support Impact Assessment of Marine Knowledge 2020*.
- Cranmer, J.; Baker, M. (2020). The global climate value of offshore wind energy. *Environ. Res. Lett.* 15 054003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7667>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Documento Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes 3990*. DNP. Bogotá.
- Di Tullio, G. R.; Mariani, P.; Benassai, G.; Di Luccio, D.; Grieco, L. (2018). Sustainable use of marine resources through offshore wind and mussel farm co-location. *Ecological Modelling*, 367, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.10.012>
- Díaz, J.; López, J. (2000). Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG. *Investigaciones geográficas*, (41), 62-80.
- Díaz, J. M.; Barrios, L. M.; Cendales, M. H.; Garzón, J.; Geister, J.; López, M.; Zea, S. (2000). *Áreas coralinas de Colombia*. Invemar, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta. 176 pp.
- Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. (2013). *Atlas Geomorfológico del Litoral Caribe Colombiano*. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 8. Dimar-CIOH. Cartagena de Indias, Colombia. 225 pp.
- Dirección General Marítima. (2019a). *Estadísticas de transporte*. Dimar.
- Dirección General Marítima. (2019b). *Lineamientos técnicos para el ordenamiento Marino Costero: Visión de Autoridad Marítima-OMC:VAM*. Dimar. Cartagena D. T. y C., Colombia.
- Dirección Territorial Costa Atlántica. (2004). Primeros avances en la elaboración del contexto territorial Caribe. DTCA. Santa Marta.
- Dosseto, A.; Buss, H. L.; Chabaux, F. (2014). Age and weathering rate of sediments in small catchments: The role of hillslope erosion. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 132, 238-258. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.02.010>

- Durango, L. C. (2009). Climatología de los principales puertos del Caribe Colombiano. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena de Indias. *Bol. Cient. CIOH*, 4-10.
- Ehler, C. (2008). Conclusions: Benefits, lessons learned, and future challenges of marine spatial planning. *Marine Policy*. 32: 840-843.
- Ehler, C.; Douvère, F. (2009). *Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management*. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. IOC Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6. París: Unesco. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.014>
- Erftemeijer, P. L.; Lewis III, R. R. R. (2006). Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review. *Marine pollution bulletin*, 52(12), 1553-1572. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.006>. PMID:17078974
- Esteban, M. D. (2009). *Propuesta de una metodología para la implantación de parques eólicos offshore*. Ph.D. Thesis. Universidad Politécnica de Madrid.
- Farahani, R.; Hekmatfar, M. (2009). *Facility location: concepts, models, algorithms and case studies*. Berlin-Heidelberg (Germany): Springer Science & Business Media. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2>
- Food and Agriculture Organization. (2006). *El estado actual de la pesca y la acuicultura*. Versión SOFÍA 2006. FAO.176 pp.
- Food and Agriculture Organization. (2014). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2015). *Global Aquaculture Production statistics database updated to 2013: Summary information*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. FAO. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229>
- Fugro Marine GeoServices Inc. (2017). *Geophysical and Geotechnical Investigation Methodology Assessment for Siting Renewable Energy Facilities on the Atlantic OCS*. US Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Office of Renewable Energy Programs, Herndon. OCS Study BOEM 2017-049.
- Gavériaux, L.; Laverrière, G.; Wang, T.; Maslov, N.; Claramunt, C. (2019). GIS-based multi-criteria analysis for offshore wind turbine deployment in Hong Kong. *Annals of GIS*, 25(3):207-218. <https://doi.org/10.1080/19475683.2019.1618393>
- Gentry, R. R.; Lester, S. E.; Kappel, C. V.; White, C.; Bell, T. W.; Stevens, J.; Gaines, S. D. (2016). Offshore aquaculture: spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and evolution*, 7(2): 733-743. <https://doi.org/10.1002/ece3.2637>. PMID:28116067 PMID:PMC5243789
- Gómez-Cubillos, C.; Licero, L.; Perdomo, L.; Rodríguez, A.; Romero, D.; Ballesteros Contreras, D.; Gómez-López, D.; Melo, A.; Chasqui, L.; Ocampo, M.A.; Alonso, D.; García, J.; Peña, C.; Bastidas, M.; Ricaurte, C. (2015). *Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia*. Portafolio. Serie de Publicaciones Generales del Invermar No. 79, Santa Marta. 69 pp.
- González, J. (2007). *El potencial energético útil de las corrientes marinas en el estrecho de Gibraltar*. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales.
- González, C. (2019). *El viento del este llega con revoluciones. Multinacionales y transición con energía eólica en territorio Wayúu*. Bogotá: Fundación Heinrich Böll.
- Handy, R. D.; Poxton, M. G. (1993). Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Biol. Fish.* 3, 205-241.
- Hennessey, T. M.; Sutinen J. G. (2005). Large Marine Ecosystem. Narragansett (Rhode Island), Elsevier B.V. 13 Vol.

- Herbeck, L. S.; Unger, D.; Wu, Y.; Jennerjahn, T. C. (2013). Effluent, nutrient and organic matter export from shrimp and fish ponds causing eutrophication in coastal and back-reef waters of NE Hainan, tropical China. *Continental Shelf Research*, 57, 92-104. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.05.006>
- Hernández, E. J. (2017). *Ubicación de sitios potenciales para el cultivo de camarón asociada a la infraestructura mediante un SIG para el litoral oaxaqueño*. (Doctoral dissertation, Universidad del Mar).
- Holmer, M. (2010). Environmental Issues Fish farming in offshore waters: Perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1, 57-70. <https://doi.org/10.3354/aei00007>
- Guerrero-Hoyos, B. G.; Vélez-Macías, F. D. J.; Morales-Quintero, D. E. (2019). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.eets>
- Inger, R., Attrill, M. J., Bearhop, S., Broderick, A. C., James Grecian, W., Hodgson, D. J., ... & Godley, B. J. (2009). Marine renewable energy: potential benefits to biodiversity? An urgent call for research. *Journal of applied ecology*, 46(6), 1145-1153
- International Energy Agency. (2010). *World energy outlook 2010*.
- Ivars, A. (2017). *Diseño de una jaula flotante para el engorde del pescado en el golfo de Cádiz*.
- Jiménez, A. (2013). *Ordenamiento espacial marino: una guía de conceptos y pasos metodológicos*. Fundación Marviva.
- Kapetsky, J. M. (1989). *Malaysia-A geographical information system for aquaculture development in Johor State*. FI:TCP/MAL/6754. FAO. Roma, Italia.
- Kapetsky, J. M.; Aguilar, J.; Jenness, J. (2013). *A global assessment of offshore mariculture potential from a spatial perspective*. FAO fisheries and aquaculture technical paper, (549), I.
- Kvam, R. (2018). *Social impact assessment: integrating social issues in development projects*. IDB Monograph, 613. <https://doi.org/10.18235/0001138>
- Kyvelou, S. S. I.; Lerapetritis, D. G. (2020). Fisheries sustainability through soft multi-use maritime spatial planning and local development co-management: Potentials and challenges in Greece. *Sustainability*, 12(5), 2026. <https://doi.org/10.3390/su12052026>
- Leal, J.; Taborda, A.; Sandoval, A.; Isaza, O. (2011). *Evaluación económica preliminar para la gestión de aguas de lastre en Colombia*. Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros, GISMAC y Ecosistemas Lóticos, Insulares, Costeros y Estuarinos, ELICE. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 88 pp.
- Lee, J.; Zhao, F. (2020). *Global Offshore Wind Report 2020*.
- Lester, S.; Costello, C.; Halpern, B.; Gaines, S.; White, C.; Barth J. (2013). Evaluating trade-offs among ecosystem services to inform marine spatial Planning. *Marine Policy*, 38: 80-89.
- López, J.; Ruíz, W. (2015). *Manual de construcción y manejo de jaulas flotantes para la maricultura del Ecuador*. 10.13140/RG.2.1.2664.2647.
- Loughney, S.; Wang, J.; Bashir, M.; Armin, M.; Yang, Y. (2020). Application of a multiple-attribute decision-analysis methodology for site selection of floating offshore wind farms off the West coast of Ireland. In: *Developments in Renewable Energies Offshore* (pp. 389-398). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003134572-45>
- Loughney, S.; Wang, J.; Bashir, M.; Armin, M.; Yang, Y. (2021). *Development and application of a multiple-attribute decision-analysis methodology for site selection of floating offshore wind farms on the UK Continental Shelf*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 47, 101440. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101440>
- Lovatelli, A.; Aguilar, J.; Soto, D. (2013). *Expanding mariculture farther offshore: Technical*,

- environmental, spatial and governance challenges*. FAO Technical Workshop, Orbetello, Italy, 22-25 March 2010 (No. 24). FAO Library.
- Malhotra, S. (2010). Design and construction considerations for offshore wind turbine foundations in North America. In: *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design* (pp. 1533-1542). [https://doi.org/10.1061/41095\(365\)155](https://doi.org/10.1061/41095(365)155)
- Marczak, J.; Engelke, P.; Bohl, D.; Saldarriaga, A. (2016). América Latina y el Caribe 2030: Escenarios futuros. *Washington, Estados Unidos, BID & Atlantic Council*.
- Marine Management Organization. (2013). *Potential for co-location of activities in marine plan areas*. A report produced for the Marine Management Organization, pp 98. MMO Project No: 1010.
- Mariyasu, L. (2004). *Effects of seismic and marine noise on invertebrates: A literature review*.
- Martínez, A.; Malagón, J. (2014). *Impacto económico y social del puerto de Cartagena*. Bogotá, Colombia.
- McGowan, L.; Jay S.; Kidd, S. (2019). Scenario-Building for Marine Spatial Planning. In: Zaucha J., Gee K. (eds). *Maritime Spatial Planning*. Palgrave Macmillan, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98696-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98696-8_14)
- Meindl, A. (1996). *Guide to moored buoys and other ocean data acquisition systems*.
- Milne, P. H. (1976). Engineering and the Economics of Aquaculture. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33(4), 888-898. <https://doi.org/10.1139/f76-113>
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2013). *Documento ejecutivo Plan Nacional de Turismo Náutico de Colombia*. Mincit.
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Unidad de Planeación Minero-Energética Plan de Expansión de Referencia: Generación-Transmisión. 2015-2029*. MinMinas. [http://www.upme.gov.co/Docs/Plan\\_Expansion/2013/Plan\\_Expansion\\_Referencia\\_2013.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2013/Plan_Expansion_Referencia_2013.pdf)
- Ministerio de Transporte. (2008). *Actualización de los estudios de ordenamiento físico, portuario y ambiental de los litorales colombianos*. Incoplan S.A. Minminas. Bogotá. 203 pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2007). *Stellwagen Bank National Marine Sanctuary Report 2007*. NOAA, 41 pp. <http://sanctuaries.noaa.gov/science/condition/sbnms/welcome.html>.
- Ocón, E. (2014). *Consideraciones de ingeniería para la construcción de muelles en Cartagena de Indias D. T. y C*. Trabajo de grado. Universidad de Cartagena, Colombia.
- Orejarena-Rondón, A.F.; Sayol, J. M.; Marcos, M.; Otero, L.; Restrepo, J. C.; Hernández-Carrasco, I.; Orfila, A. (2019). *Coastal Impacts Driven by Sea-Level Rise in Cartagena de Indias*. *Frontiers in Marine Science*, 6(October). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00614>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.(2016). *Pesca y acuicultura en Colombia*. OECD Publishing. 31 pp. [https://www.oecd.org/agriculture/fisheries/Fisheries\\_Colombia\\_SPA\\_rev.pdf](https://www.oecd.org/agriculture/fisheries/Fisheries_Colombia_SPA_rev.pdf). Consultado en: 23/09/2018.
- Pabón, S. M. (2019). *Geospatial assessment of the wind energy for an onshore project in the Caribbean region of Colombia*. Doctoral dissertation, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg.
- Palomino, M.; Almazán, J. L.; Arrayás, J. L. (2001). *Oscilaciones en masas de agua confinadas: resonancia en puertos*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez, M.; García, T.; Invers, O.; Ruiz, J. M. (2008). Physiological responses of the seagrass *Posidonia oceanica* as indicators of fish farm impact. *Marine Pollution Bulletin*, 56(5), 869-879. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.02.001>. PMID:18334257
- Pinilla, A. (2008). El poder del viento. *Revista de Ingeniería*, 28, 64-69. <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/267/304>. <https://doi.org/10.16924/revinge.28.9>

- Poveda, G.; Vélez, J. I.; Mesa, O.; Hoyos, C.; Mejía, J. F.; Barco, O. J.; Correa, P. L. (2002). Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: Cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorología Colombiana*, 6, 121-130.
- Prado, I. D. (2018). *Estudio de implantación de un parque eólico offshore flotante en la costa de Cantabria*.
- Prato, J.; Reyna, J. (2015). *Aproximación a la valoración económica de la zona marina y costera del Caribe colombiano*. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Océano. Bogotá, 184 pp.
- Price Water House Cooper. (2015). *El mundo en el 2050 ¿Cuáles son las tendencias en el equilibrio del poder Resumen económico mundial?*. PWC.
- Queensland Government. (2019). *Anchorage area design and management guideline*. Maritime safety Queensland.
- Rabasso, M. K. (2016). *Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos*. Instituto Canario de Ciencias Marinas: Dpto. Análisis Económico Aplicado.
- Ramadhan, M. M.; Prayitno, S. B.; Windarto, S.; Herawati, V. E. (2021). Suitability Analysis of Vaname Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Cultivation Locations Based on the Physical and Chemical Aspects of Water in Patebon Sub-district, Kendal Using Geographic Information System. *Aquacultura Indonesiana*, 22(1), 10-17. <https://doi.org/10.21534/ai.v22i1.210>
- Ministerio de Medio Ambiente. (1995). Resolución N° 2965 del 12 de septiembre de 1995. Diario Oficial No. 42029. República de Colombia. Minambiente.
- Reyes, G.; Guzmán, G.; Barbosa, G.; Zapata, G. (2001). *Geología de las planchas 23 Cartagena y 29-30 Arjona*. Colombia.
- Rivera, S. (2018). *Planificación del territorio marino. Retos y oportunidades para el ordenamiento territorial colombiano*. 10.25062/9789585652873.05.
- Rodríguez, A. (2002). *El papel de la OIT en la puesta en práctica de estrategias de desarrollo económico local en un mundo globalizado*. Local Economic Development Programme (LED), OIT Ginebra, 2002.
- Rojo, S. (2016). *El arte de fondear: análisis de movimientos, capacidad de agarre y condiciones para garrear de un ancla fondeada*. Objetivos del Plan de Fondeo y Estudio de Viabilidad del Método de Fondeo U-turn. Prácticos de Puerto.
- Rubino, M. (2008). *Offshore aquaculture in the United States: economic considerations, implications & opportunities*. NOAA Technical Memorandum NMFS F/SPO-103, 263.
- Saling, P.; Gyuzeleva, L.; Wittstock, K.; Wessolowski, V.; Griesshammer, R. (2020). Life cycle impact assessment of microplastics as one component of marine plastic debris. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(10), 2008-2026. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01802-z>
- Schlacher, M. A.; Schlacher, T. A. (1998). Accumulation, contamination, and seasonal variability of trace metals in the coastal zone-patterns in a seagrass meadow from the Mediterranean. *Marine Biology*, 131(3), 401-410. <https://doi.org/10.1007/s002270050333>
- Sesma, E. E. (2020). *Análisis de la viabilidad de la instalación de un parque eólico offshore flotante en España*.
- Shenoi, R. A., Bowker, J. A., Dzielendziak, Agnieszka S., Lidtke, Artur Konrad, Zhu, G., Cheng, F., Argyos, D., Fang, I., González, J., Johnson, S., Ross, K., Kennedy, I., O'Dell, M. & Westgarth, R. (2015). *Global Marine Technology Trends 2030*. Southampton, GB. University of Southampton, 186 pp.
- Southern Forrest Products Association. (2014). *Guía de Construcción Marina. Agua dulce, agua salobre y agua salada - Conceptos de diseño y lineamientos de especificación*.

- Stelzenmüller, V.; Gimpel, A.; Gopnik, M.; Gee, K. (2017). Aquaculture site-selection and marine spatial planning: the roles of GIS-based tools and models. In: *Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean* (pp. 131-148). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51159-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51159-7_6)
- Stigebrandt, A. (2011). Carrying capacity: general principles of model construction. *Aquaculture Research*, 42, 4-50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02674.x>
- Superintendencia de Puertos y Transporte. (2016). *Boletín Estadístico. Tráfico portuario en Colombia*. Superpuertos. Ministerio de Transporte. Primer Trimestre 2016. Bogotá. 2016.
- Tabares, N.; Soltau, J.; Díaz, J.; David, D.; Landazabal, E. (2009). Características geomorfológicas del relieve submarino en el Caribe colombiano. Pp- 61-116. En: Dimar-CIOH. (2009). *Geografía submarina del Caribe colombiano*. Dirección General Marítima-Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed. Dimar, Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 4. Cartagena de Indias Colombia. 150 pp.
- The Renewables Consulting Group y Environmental Resources Management. (2022). *Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia - Reporte final*. ERM. <https://www.valoraanalitik.com/wp-content/uploads/2022/04/Espanol-Hoja-de-ruta-energia-eolica-costa-afuera-en-Colombia-Final.pdf>
- Tobiasson, B. O.; Kollmeyer, R. C. (2013). *Marinas and small craft harbors*. Springer Science & Business Media.
- Trenkamp, R.; Kellogg, J.; Freymueller, J.; Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 157-171. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00018-4)
- Urrea, V.; Ochoa, A.; Mesa, O. (2019). Seasonality of Rainfall in Colombia. *Water Resources Research*, 55(5), 4149-4162. <https://doi.org/10.1029/2018WR023316>
- Usón, F. (2014). *Desarrollo de un modelo de costes para parques eólicos offshore*. <https://doi.org/10.1029/2018WR023316>
- Vagiona, D. G.; Kamilakis, M. (2018). Sustainable site selection for offshore wind farms in the South Aegean-Greece. *Sustainability*, 10(3), 749. <https://doi.org/10.3390/su10030749>
- Vanclay, F.; Esteves, A.; Aucamp, I.; Franks, D. (2015). *Social Impact Assessment: Guidance for assessing and managing the social impacts of projects*. [https://www.iaia.org/uploads/pdf/SIA\\_Guidance\\_Document\\_IAIA.pdf](https://www.iaia.org/uploads/pdf/SIA_Guidance_Document_IAIA.pdf)
- Vaselli, S.; Bertocci, I.; Maggi, E.; Benedetti-Cecchi, L. (2008). Effects of mean intensity and temporal variance of sediment scouring events on assemblages of rocky shores. *Marine Ecology Progress Series*, 364:57-66. <https://doi.org/10.3354/meps07469>
- Wilhelmsson, D. (2010). *Greening Blue Energy- Identifying and managing the biodiversity risks and opportunities of offshore renewable energy*.
- World Energy Council. (2019). *World Energy Scenarios 2019 - Exploring Innovation Pathways to 2040*. United Kingdom.
- World Wind Energy Association. (2017). *World Wind Market has reached 486 GW from where 54 GW has been installed last year*. WWEA. <https://wwindea.org/blog/2017/06/08/11961-2/>
- Xu, Y.; Li, Y.; Zheng, L.; Cui, L.; Li, S.; Li, W.; Cai, Y. (2020). Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian, China. *Energy*, 207, 118222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118222>
- Yates, K. L.; Schoeman, D. S.; Klein, C. J. (2015). Ocean zoning for conservation, fisheries and marine renewable energy: assessing trade-offs and co-location opportunities. *Journal of environmental management*, 152, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.045>. PMID:25684567
- Yuk, J. H.; Aoki, S. (2007). Impact of Jetty Construction on the Current and Ecological Systems in an Estuary with a Narrow Inlet. *Journal of Coastal Research*, 784-788.

Zangrando, M.; Brioñes, A. (2017). *El crecimiento azul como aplicación de la economía azul: estudios e implementaciones*. Universidad Politécnica de Cartagena. Facultad de la Ciencia de la Empresa.