

Revista internacional revisada por pares que contiene resultados originales de investigación en todas las áreas de las ciencias para el Cambio Climático

An international, peer-reviewed journal that contains original research findings in all areas of science for Climate Change.

REVISTA

JAINA



COSTAS Y MARES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Vol. 7 (2) 2025



ISSN :0188-4700

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático, es una publicación internacional dedicada al estudio de todos los aspectos relacionados con el conocimiento científico para el cambio climático a nivel internacional, regional, nacional y local. El uso y la conservación de los recursos costeros y marinos, incluyendo recursos de ecosistemas dulceacuícolas, requieren de un enfoque multidisciplinario, desde las ciencias naturales hasta las ciencias físicas, químicas, así como del análisis político, económico y social.

DIRECTORIO EDITORIAL

Editor en Jefe / Editor in Chief

Dr. Yassir Edén Torres Rojas

Editores Asociados / Associate Editors

Dra. Claudia M. Agraz Hernández
Dr. Rodolfo Enrique del Río Rodríguez
Dr. Ricardo Dzul Caamal
Dr. Maurilio Lara Flores
Dr. Edgar F. Mendoza Franco
Dr. Gregorio Posada Vanega
Dra. Evelia Rivera Arriaga
Dr. Jaime Rendón Von Osten
Dra. Beatriz Edith Vega Serratos

Coordinación Editorial / Editorial Coordinator

ME Jorge Gutiérrez Lara

Diseño Gráfico

DG Juan M. Matú Fierros

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático, es una publicación con dos números anuales. Es una publicación editada por la Universidad autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar S/N entre Calle 20 y Juan de la Barrera. Col. Buenavista. CP 24039. Tel. +52(981) 8119800; <https://jainacc.uacam.mx>. Editor responsable: Dr. Yassir edén Torres Rojas. ISSN 0188-4700 Universidad Autónoma de Campeche Av. Agustín Melgar S/N entre Calle 20 y Juan de la Barrera. Col. Buenavista. CP 24039. fecha de última modificación 15 de junio de 2019.

COMITÉ EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

Dr. Francisco Arreguín

CICIMAR-IPN, México

Dr. Luis Amado Ayala Pérez

UAM-Xochimilco, México

Dr. Milton Azmus,

Universidade de São Paulo,
Brasil

Dr. Isaac Azuz-Adeath

CETYS-universidad, México

Dr. Ángel Campa Córdova

CIBNOR, México

Dra. Sandra Cassotta

Aalborg University, Dinamarca

Dr. Martha I. Espejel Carbajal

UABC, México

Dra. Julia Fraga

CINVESTAV-Mérida, México

Dr. Daniel Geartner

Institute of Research
for Development

Dr. Pierre Marie Kaktcham

Université de Dschang,
Camerún

Dr. Basilio Lara Chávez

UABC, México

Dr. Antonio Luna González

CIIDIR-IPN, México

Dr. David J. Marcogliese

McGill University, Canadá

Dr. Andrés Martínez-Aquino

UNAM, México

Dr. Eduardo Mendes da Silva

Universidade de Bahia, Brasil

Dr. Edgar Mendoza Baldwin

UNAM, México

Dr. Adrián Quintero Gutiérrez

IPN, México

Dra. Silvia Salas

CINVESTAV-Mérida, México

Dr. Guillermo Salgado

UNAM, México

Dr. Alfonso V Botello

UNAM, México

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

esta soportado por:

OJS

Open Journal System

...en este número

Progreso, Yucatán: Retos y Oportunidades en la Conservación y Desarrollo de su Zona Costera	5
Progreso, Yucatán: Challenges and Opportunities in the Conservation and Development of its Coastal Zone	
<i>Brenda Cardozo Miss, Danitza Ortiz Ordoñez, Ana Pérez Pérez, Guadalupe Escobar Mex, Daniel Bustamante Ramírez, Jorge Ek Leon, Angelina del Carmen Peña-Puch y Evelia Rivera-Arriaga</i>	
Síntesis Diagnóstica del Manejo Integrado Costero en los Países Bajos	25
Diagnostic Synthesis of Integrated Coastal Management in The Netherlands	
<i>Javier Pan Barcel, Angelina del Carmen Peña-Puch y Evelia Rivera-Arriaga</i>	
Importancia de las mariposas como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, un estudio de revisión	45
Importance of butterflies as potential bioindicators of environmental quality in Mexico	
<i>Wendy E. Paredes Puc, Nadia J. Chablé Mis, Karla L. Ruíz Mariscal, Andrea L. Cabrera Tamayo, Galilea del R. Cervera López, Evelia Rivera-Arriaga y Angelina del Carmen Peña-Puch</i>	
Proyecto: Los Grupos Vulnerables en las Costas y los Océanos en Campeche: Recomendaciones para la Cultura para un Océano Inspirador y Estimulante	63
Project: Vulnerable Groups on the Coasts and Oceans in Campeche: Recommendations for a Culture for an Inspiring and Stimulating Ocean	
<i>Angelina del Carmen Peña Puch, Evelia Rivera Arriaga, Maurilio Lara Flores, Juan Manuel Matu Fierros y Martín Memije Canepa</i>	
Fortalecimiento de la Resiliencia Socioecológica Costera ante el Cambio Climático, un reto de Ciencia de Frontera	71
Strengthening Coastal Socio-Ecological Resilience to Climate Change, a Frontier Science Challenge	
<i>Laura Elena Vidal-Hernández, Evelia Rivera-Arriaga, Angelina del C. Peña Puch, Leopoldo Palomo y Eva Coronado</i>	

Cardozo Miss, B., Ortiz Ordoñez, D., Pérez Pérez, A., Escobar Mex, G., Bustamante, Ramírez, D., Ek Leon, J., Peña-Puch, A.C., Rivera-Arriaga, E. 2025. Progreso, Yucatán: Retos y Oportunidades en la Conservación y Desarrollo de su Zona Costera. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(2): 5-24. doi 10.26359/52462.0706



Progreso, Yucatán: Retos y Oportunidades en la Conservación y Desarrollo de su Zona Costera

Progreso, Yucatán: Challenges and Opportunities in the Conservation and Development of its Coastal Zone

Brenda Cardozo Miss¹, Danitza Ortiz Ordoñez¹, Ana Pérez Pérez¹, Guadalupe Escobar Mex¹, Daniel Bustamante Ramírez², Jorge Ek Leon², Angelina del Carmen Peña-Puch^{3,} y Evelia Rivera-Arriaga³*

¹ Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Campeche

² Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche

³ Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche

** autor de correspondencia: angcpena@uacam.mx*

doi 10.26359/52462.0706

Recibido 01/enero/2025. Aceptado 20/mayo/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

La Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) es una franja costera de 20 metros de ancho que se extiende tierra adentro a partir de la marea más alta registrada y que es considerada propiedad de la nación en México. En la península de Yucatán, que abarca los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, la ZOFEMAT es particularmente relevante debido a la extensión y diversidad de su costa, que incluye playas de arena blanca, manglares, y dunas. En Yucatán, un caso notable es Progreso, cuyo puerto y zona costera han experimentado cambios significativos por el crecimiento poblacional y el turismo. Las autoridades han implementado medidas para la protección de la ZOFEMAT, como la creación de planes de manejo costero y esquemas de concesiones reguladas. A largo plazo, la gestión sostenible de la ZOFEMAT en la península de Yucatán es fundamental para conservar su biodiversidad, proteger a las comunidades costeras y asegurar un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación ambiental. En este artículo se hablará de los usos que la ciudad de Progreso le ha dado a este espacio, así como también los problemas que enfrenta esta zona en la gestión de los sistemas socio-ecológicos costeros (SSE), en este apartado también se incluyen los riesgos (desastres naturales y ecológicos) que pueden enfrentar los habitantes de Progreso.

.Palabras clave: MIZC, ZOFEMAT, Progreso, turismo, pesca, economía y Cambio Climático.

Abstract

The Federal Maritime Terrestrial Zone (ZOFEMAT) is a coastal strip 20 meters wide that extends inland from the highest recorded tide and is considered national property in Mexico. In the Yucatán Peninsula, which includes the states of Campeche, Yucatán, and Quintana Roo, the ZOFEMAT is particularly relevant due to the extensive and diverse coastline, featuring white sand beaches, mangroves, dunes, and coral reefs. In Yucatán, a notable case is Progreso, where the port and coastal zone have undergone significant changes due to population growth and tourism. Authorities have implemented measures to protect the ZOFEMAT, such as creating coastal management plans and regulated concession schemes. In the long term, sustainable management of the ZOFEMAT in the Yucatán Peninsula is essential to conserve its biodiversity, protect coastal communities, and ensure a balance between economic development and environmental preservation. This article will discuss the uses that the city of Progreso has given to this space as well as the challenges this zone faces. It will also address the issues involved in managing coastal social-ecological systems (SES), including risks such as natural and ecological disasters that Progreso's residents may encounter.

Keywords: ICZM, ZOFEMAT, Tourism, Fishing, Economy, Climate Change.



Introducción

El municipio de Progreso se encuentra en la costa norte del estado de Yucatán, en la denominada Región 6 Influencia Metropolitana debido a su cercanía con la capital del estado Mérida, sus coordenadas extremas son 21° 10' - 21° 19' de latitud norte y 89° 34' - 89° 57' de longitud oeste, limita con los municipios de Chicxulub Pueblo, Huncucmá, Ixil, Mérida y Ucú (Gobierno de Yucatán, 2024). El municipio de Progreso ocupa una superficie de 270.10 km². Tiene una extensión costera aproximada de 30 kilómetros, que abarca no solo la ciudad y puerto de Progreso, sino también otras localidades costeras como Chuburná, Chelem y Chicxulub Puerto. Este municipio es conocido por su desarrollo turístico, la actividad pesquera y el importante puerto de altura que conecta con rutas comerciales y de cruceros (Gobierno de Yucatán, 2024).

En el municipio de Progreso la base de la economía se debe a la construcción del Puerto de Altura, singular instalación marítima consistente en un viaducto que se interna en el mar 6.5 km., para ganar profundidad y permitir el atracado de naves hasta de un calado de 34 pies, como un centro estratégico para la logística de exportación e importación de bienes de la península de Yucatán, (Gobierno de Yucatán, 2024). En esta zona destaca el importante y consolidado sector pesquero, sin embargo, la zona costera se enfrenta a grandes problemas socioambientales como la erosión costera, ascenso del nivel del mar, eventos meteorológicos extremos e inundaciones, marejadas ciclónicas, y contaminación, entre otros. El objetivo es describir el manejo integrado de la zona costera del municipio de Progreso, considerando el uso y la delimitación de la ZOFEMAT. Además, se plantea un plan de MIZC para mejorar la calidad de vida de los habitantes y ecosistemas de la región.

Características de la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT)

La ZOFEMAT en México corre a lo largo de las costas del país, ríos, lagos y lagunas sujetas a influjo de mareas. En el reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar se define la ZOFEMAT (Zona Federal Marítimo Terrestre) como una franja de veinte metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a la playa (DOF, 1991; PROFEPA, 2016). Sin embargo, cuando la costa no posee playas, pero si tiene formaciones rocosas o acantilados, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) determinará la zona federal marítimo terrestre en una franja de 20 metros adyacente al mar, únicamente cuando la inclinación sea de 30 grados o menor en forma continua (art. 4° del Reglamento para el uso y aprovechamiento de la ZOFEMAT) (PROFEPA, 2016). Cabe señalar que la playa son las partes de tierra que por efecto de la marea cubre y descubre el agua (art. 7° fracción IV de la Ley General de Bienes Nacionales). La verificación del uso, aprovechamiento y explotación de la ZOFEMAT, playas marítimas y terrenos ganados al mar, administrados por la SEMARNAT, es atribución de la PROFEPA y resulta estratégica por la gran extensión de litorales con que cuenta el país, así como por la riqueza de sus recursos naturales y la importancia de los ecosistemas que alberga.

En el caso de Progreso, Yucatán, el puerto y sus áreas costeras han tenido un importante desarrollo turístico y comercial, lo que hace que la ZOFEMAT juegue un papel crucial en la gestión y planificación del territorio costero.



Características ambientales

Los sistemas costeros de la península de Yucatán cuentan con gran riqueza tanto biológica como escénica, lo cual se relaciona con la dinámica hidrológica existente en ellos, así como a la diversidad ecológica (Herrera-Silveira *et al.*, 2019). En el norte de Yucatán se tiene selva baja caducifolia con cactáceas columnares (SBCCC), con una vegetación sobre un suelo somero y con la roca aflorada. Cerca de la costa se desarrolla la vegetación halófila típica en la línea de costa, la duna costera y el matorral de duna costera. También son frecuentes varios tipos de manglar y marismas incluyendo a los Petenes y sabanas húmedas (Gobierno de Yucatán, 2024).

La vegetación de Progreso ha sido alterada por las zonas urbanizadas. No obstante, aún se pueden observar manchones de vegetación de la duna costera, palmas de diversas especies, vegetación rastrera, etc. A lo largo de la playa se forman cordones de algas que son depositadas por la marea en temporada invernal (Gobierno de Yucatán, 2024). Esta zona se caracteriza por su riqueza en productos naturales relacionados con los ecosistemas costeros que incluyen el mar, la ciénaga, los manglares y manantiales, los cuales tienen un gran valor desde el punto de vista económico, pesquero, turístico ecológico y social (Herrera-Silveira *et al.*, 2019).

Características sociales

Según los datos presentados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 2020, la población en el estado Yucatán cuenta con 2 320 898 habitantes, mientras que, en el municipio de Progreso, habitan 66 008 personas, alrededor del 49.97 % son hombres, lo que equivale aproximadamente a 32 979 personas, y el 50.03 % restante corresponde a mujeres, es decir, cerca de 33 029. Esto refleja un equilibrio casi perfecto entre hombres y mujeres, lo cual es una tendencia particular de esta población, en lugar de una mayoría marcada de uno de los géneros (INEGI 2020).

Además, en virtud del Panorama Sociodemográfico de Yucatán (2020), se presentan datos genera-

les sobre las características e indicadores sociales, que permiten una comprensión más profunda de la composición socioeconómica y desarrollo de la población.

En el sector educación destacan tres puntos clave que son el nivel de escolaridad, la asistencia escolar y la tasa de alfabetización. En cuanto al nivel de escolaridad, el 3.4 % de la población no tiene escolaridad, el 55.4 % cuenta con escolaridad básica, el 23.5 % con media superior, el 17.4 % con nivel superior y el 0.4 % no especifica su nivel educativo. Respecto a la asistencia escolar, el 67.2 % de los niños de 3 a 5 años asisten a la escuela, mientras que, en los rangos de 6 a 11 años, la asistencia alcanza el 95.6 %, en 12 a 14 años es del 93.1 %, y en 15 a 24 años, solo el 44.4 % asiste. Finalmente, la tasa de alfabetización muestra que el 98.9 % de los jóvenes de 15 a 24 años son alfabetizados, y el 95.6 % de las personas de 25 años en adelante también lo son.

El sector vivienda puede analizarse a través de varios aspectos clave que proporcionan información sobre las condiciones de vida en la región. En cuanto a la ocupación de viviendas, se observa que el promedio de ocupantes por vivienda es de 3.6, mientras que el promedio de ocupantes por cuarto es de 1.2. Además, un 1.4 % de las viviendas todavía cuenta con piso de tierra, lo que refleja una posible carencia de infraestructura básica en algunas áreas.

En términos de disponibilidad de bienes, los datos muestran que la mayoría de los hogares tiene acceso a ciertos electrodomésticos y vehículos. Un 90.9 % de los hogares cuenta con refrigerador, 82.0 % con lavadora, y un 36.8 % tiene automóvil o camioneta. También se observa que un 29.2 % de los hogares posee motocicleta o motoneta, y el 35.1 % tiene bicicleta, lo que sugiere que, aunque hay acceso a vehículos motorizados, las bicicletas siguen siendo una opción importante para la movilidad local.

Por último, la disponibilidad de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en los hogares también es relevante, ya que un 34.2 % de los



hogares tiene computadora, un 36.5 % tiene línea telefónica fija, el 93.2 % posee teléfono celular, y 62.6 % tiene acceso a internet, lo que muestra una alta penetración de tecnologías móviles e internet. Sin embargo, el acceso a servicios de televisión de paga es más limitado, ya que solo el 56.5 % de los hogares lo tiene.

En el sector salud los datos de afiliación a servicios de salud en 2020 muestran que las opciones más utilizadas fueron las siguientes: el IMSS con un 48.0 % de la población afiliada, el INSABI con un 38.9 %, y el ISSSTE o ISSSTE estatal con un 6.1 %, también se registraron menores porcentajes de afiliación a otros servicios, como el IMSS Bienestar con 0.3 %, PEMEX, Defensa o Marina con 6.0 %, y 1.6 % en instituciones privadas. Mientras que un 0.7 % de la población se encuentra afiliada a otras instituciones de salud.

Por otro lado, se presenta la información sobre la población con alguna discapacidad, el que las más comunes fueron la discapacidad física, discapacidad visual y discapacidad auditiva. En ese sentido, su distribución por grupos de edad, se observa que el 2.6 % de la población de 0 a 17 años presenta alguna discapacidad, lo mismo ocurre en el grupo de 18 a 29 años. En los rangos de edad de 30 a 59 años, la prevalencia es del 5.5 %, y en el grupo de 60 años y más, se observa un porcentaje más alto, con un 25.1 %.

Respecto a los indicadores de pobreza multidimensional, en Progreso, Yucatán, un total de 26 203 personas se encuentran en condición de pobreza, lo que representa el 42.1 % de la población total

(CONEVAL, 2020). Este porcentaje se divide en dos categorías: pobreza moderada y pobreza extrema. En la categoría de pobreza moderada, se registran 22 282 personas, lo que equivale al 35.8 % de la población. Por otro lado, en la pobreza extrema se encuentran 3 921 personas, lo que representa el 6.3 % de la población (CONEVAL, 2020).

Características económicas

Respecto al comercio exterior, las compras internacionales totales de Progreso fueron US \$ 2.1 millones en Julio del 2024. El principal producto importado son los muebles y piezas relacionadas al mismo tipo de material (10.7 % de todos los productos importados), con un total de US \$ 1.21 millones. Las compras se hacen principalmente a China con un 37.2 % y a Estados Unidos con un 35.4 % del total. Por otra parte, las ventas internacionales totales fueron de US \$ 5.33 millones. El principal producto exportado es el pescado fresco o refrigerado, excepto los filetes y demás carne de pescado de la Partida 03.04, el cual corresponde al 47.5 % del total de las exportaciones, esto generando un total de US \$ 26.2 millones. Cabe señalar que el principal cliente al que se le vende es Estados Unidos con un 97.6 % (tabla 1) (Gobierno de México, 2024).

Durante el periodo enero-junio de 2024, Yucatán registró una inversión extranjera directa (IED) acumulada de 98.8 millones de dólares (Gobierno de México, 2024). En el segundo trimestre del mismo año, la población económicamente activa alcanzó el 65.9 % de la población total, de la cual

Tabla 1. Comercio exterior de Progreso.

Categoría	Valor Total (USD)	Producto Principal	% del Total	Valor del Producto Principal (USD)	Países Relevantes / Clientes	% por País
Importaciones	2.1 Millones	Muebles y piezas relacionadas	10.70%	1.21 Millones	China / Estados Unidos	37.2% / 35.4%
Exportaciones	5.33 Millones	Pescado fresco o refrigerado (excepto filetes y carne de la Partida 03.04)	47.50%	26.2 Millones	Estados Unidos	97.60%

Elaboración propia a partir de los datos de Gobierno de México, 2024.



1.21 millones de personas se encontraban ocupadas. De este grupo, el 40 % corresponde al empleo formal y el 60 % al informal. La tasa de desocupación se ubicó en 1.75 % (Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, 2024). El salario promedio mensual en esta región es de \$ 7 220 pesos mexicanos, aunque este monto varía significativamente según el sector laboral. En el sector informal, el ingreso promedio es de \$ 5 510 pesos, mientras que en el sector formal asciende a \$ 9 790 pesos. La mayoría de los trabajadores se desempeñan en el sector de ventas, principalmente como despachadores y dependientes en comercios, lo que representa el 6.18 % de la población ocupada, equivalente a aproximadamente 74 100 personas (Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, 2024).

En las actividades económicas de Progreso, se tiene cuatro actividades principales, las cuales son turismo, pesca, industria y comercio nacional e internacional.

La actividad turística, ha tenido un buen crecimiento en los últimos años esto se desarrolló por el trabajo conjunto del sector público y los inversionistas privados, un factor importante que ayudó a este crecimiento fue la atracción de los cruceros turísticos. Por otra parte, el 35.8 % de los turistas están totalmente de acuerdo con los precios de las artesanías, 49.3 % de los turistas están de acuerdo con los precios pagados por los alimentos y bebidas que consumieron. Además, el 7.8 % de los turistas perciben mensualmente un sueldo de \$5k a \$10k pesos, y el 53.7 % de los turistas viajó por motivos de descanso y recreación, esto según una encuesta realizada en 2021 (Ricalde *et al.*, 2021).

Por otra parte, en esta región se obtienen importantes volúmenes de captura de diversas especies. En el 2021, la producción pesquera fue de 47 630 toneladas, por otra parte, también se tiene que la participación porcentual de Progreso respecto a la producción nacional fue de 2.47 % y que el valor de la producción en 2021 fue de \$ 3 252 141 pesos (Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, 2021). Todas estas especies, se distribuyen y comercializan en el mercado local y nacional. Las

principales especies capturadas en cuanto a mayor número de toneladas son: pulpo (*Octopus Maya*), mero (Epinephelinae), xlavita (*Lagodon rhomboides*), rubia (*Ocyurus chrysurus*), camarón de cultivo (*Litopenaeus*), tiburón (Selachimorpha), sardina vivita (*Opisthonema oglinum*), armado (*Platydoras armatulus*), huachinango (*Lutjanus campechanus*) y langosta (*Palinurus elephas*) (Gobierno de México, 2024).

Respecto al sector industrial, en el Plan Estatal de Desarrollo (2018-2024) se consideró la mejora de la infraestructura turística de acuerdo a las demandas del mercado que permita un mayor aprovechamiento de los recursos, modernización y fortalecimiento del puerto de Progreso (Gobierno del Estado de Yucatán, 2018). Por otro lado, el sector industrial de Yucatán en 2017 fue de 67 mil 912 millones de pesos en términos reales, de los cuales la industria manufacturera 40.1 %, la construcción 39.9 %, y con un menor porcentaje la minería con 1.4% (*Ibid*).

Por último, el municipio de Progreso es base de una importante industria pesquera y se ha consolidado a partir de la construcción del puerto de Altura, está singular instalación marítima consistente en un viaducto que se interna en el mar 6.5 Km., para ganar profundidad y permitir el atracado de naves hasta de un calado de 34 pies, como un centro estratégico para la logística de exportadores e importadores de la península de Yucatán. Los contenedores cargados de mercancías salen de Progreso hacia el mundo y llegan del exterior para ser distribuidos a la península de Yucatán.

Características Geológicas

Se localiza en el golfo de México al noroeste del estado de Yucatán con Lat. 21° 16' 58" N y Long. 89° 39' 49" W, limitando con los municipios de Chicxulub Pueblo, Hunucmá, Ixil, Ucu y a 36 km al norte de Mérida, la capital del estado tiene una altura promedio de 2 m sobre el nivel del mar, ocupa el 1.15% de la superficie del Estado, con una superficie de 270,1 km² (figura 1).

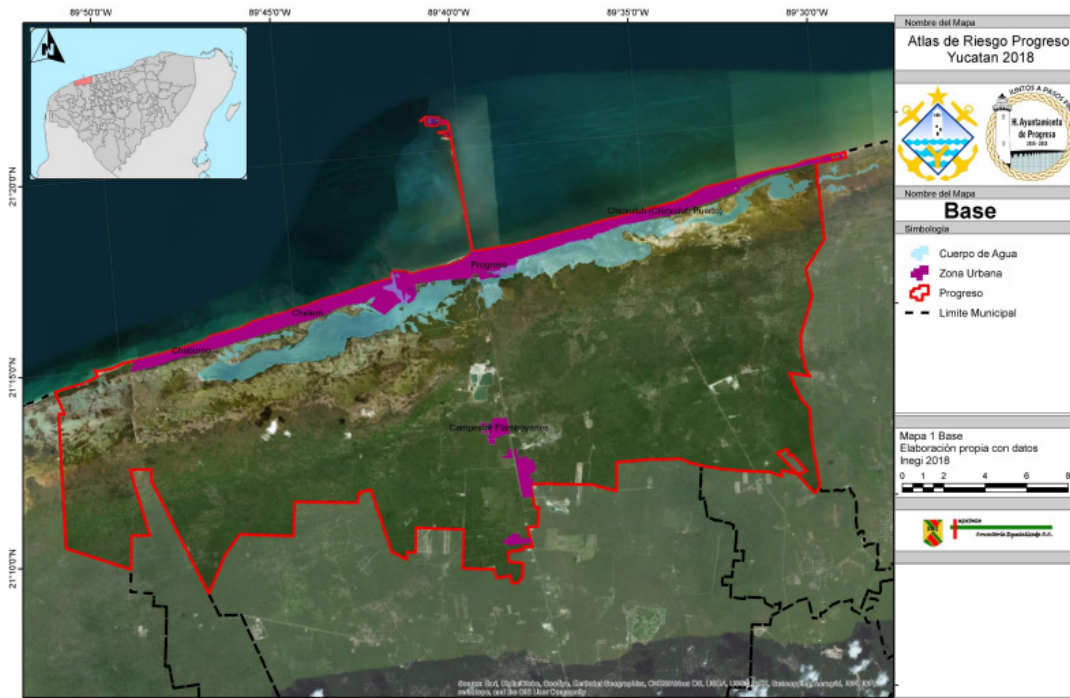


Figura 1. Mapa base del Atlas de Riesgos Naturales 2015 – 2018. Fuente: Ayuntamiento de Progreso (2018).

El origen geológico del municipio corresponde al periodo Neógeno en 48.51 % y al periodo cuaternario en un 33.37 %, con un tipo de suelo lacustre en un 26.28 % y litoral en un 0.80 %, el subsuelo del estado de Yucatán está constituido por una secuencia de sedimentos calcáreos, los sedimentos terciarios se hallan en posición horizontal o con acabados muy suaves, con una aproximación de 120 m corresponden a las calizas masivas recristalizadas, cavernosas de buena permeabilidad (Ayuntamiento de Progreso, 2018).

Según la geomorfología, la superficie del territorio de Progreso es plana, cuenta con playa (extendida a lo largo de todo el municipio) o barra de laderas tendidas, inundables y salinas con lomerío. El terreno donde se asienta progreso es en su mayor parte arenoso y de tierra negra, piedra y pantanosa. El subsuelo está formado por una capa de piedra o laja en cuanto a la orografía se distinguen dos zonas: la región costera, cuyo territorio presenta una

pendiente leve que se convierte en lecho marino; y la región del interior está formada por una llanura de barrera con piso rocoso (que ocupa la mayor extensión del territorio), al sur, aparece sobre calizas que dan origen a un relieve cárstico y numerosas corrientes de agua subterráneas. (Atlas de Riesgos Naturales Progreso, Yucatán 2018).

Respecto a la edafología, los suelos son diversos (material parental, relieve, clima, vegetación y microorganismos), por lo que la composición del suelo (Gobierno del Estado de Yucatán. 2018) (figura 2)):

- Leptosoles con un 56.93 %: Suelo somero de escasa profundidad, escasa cantidad de tierra fina y gran cantidad de piedras o afloramientos de rocas. (CONABIO, La biodiversidad en Yucatán: Estudio de Estado 2023)
- Solonchak con un 24.11 %: Pegados a las costas, contienen tejido vegetales reconocibles, sobre yacen a materiales calcáreos, cuando se

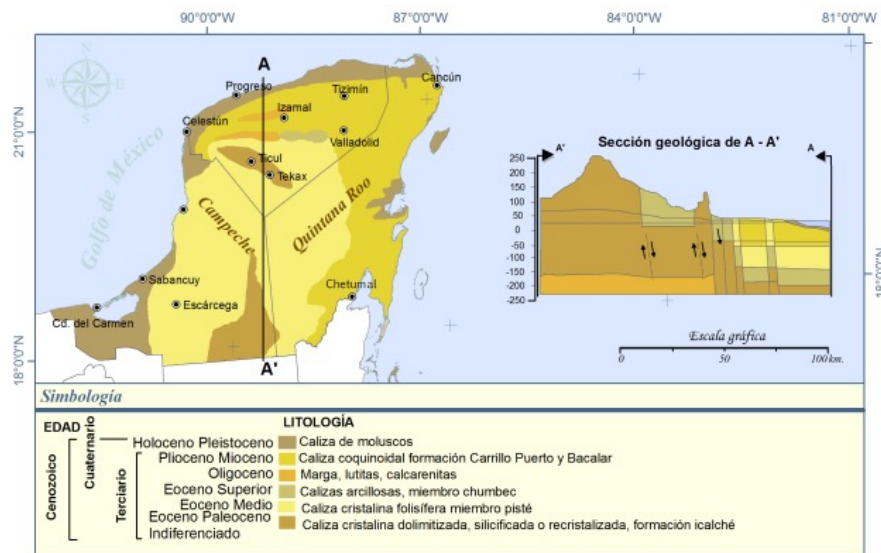


Figura 2. Clasificación geológica de la península de Yucatán (DIGA0HM). Fuente: Gobierno de México. (2013).

interrumpen los flujos de agua, los histosoles se degradan y se convierten en este tipo de suelo.

- Regesol con un 1.20 %: Cuenta con una capa de material suelto sobre puesto a la capa material que da origen al suelo, son suelos débilmente minerales, su textura arenosa hacen que la fertilidad sea limitada, la infiltración muy rápida y la retención de humedad muy baja. (Durán R. & Méndez, 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY)

En el municipio de Progreso se localiza en la región hidrológica Yucatán Norte, en la cuenca de Yucatán no existen corrientes superficiales de agua, aunque hay presencia de corrientes subterráneas, que forman un tipo de depósitos “cenotes”, en progreso solo hay presencia de uno, ubicado en el área conocida como el Chorchito dentro de la ciénaga, además en la costa existe una franja arenosa que separa la ciénaga del mar, posee humedales con vegetación de manglar que facilita la retención de agua en períodos de lluvia y crecientes hasta una distancia de 2 km tierra adentro, Atlas de Riesgos Naturales Progreso, Yucatán. 2018).

Clasificación de la ZOFEMAT

Progreso está situado en el litoral norte del estado de Yucatán, a unos 35 kilómetros de la capital estatal, Mérida. Se trata de un municipio con vocación pesquera y que destaca por su puerto comercial y de transporte marítimo. Este puerto fue fundado en 1871 en sustitución del puesto de Sisal, beneficiándose de la cercanía de la capital (Babinger, 2015).

A continuación, la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) de la ciudad de Progreso será clasificada según el tipo de uso que se le asigna a esta franja costera. En este caso, se identifican tres categorías principales: uso vial rústico, uso pesquero y uso turístico.

Uso vial rústico

En la zona norte de la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT), predomina el uso vial rústico. No obstante, existe un área donde este uso converge con actividades turísticas (figura 3), específicamente con la práctica del deporte recreativo conocido como “kitesurf”.



Uso pesquero

En esta zona del norte se encuentran dos muelles (figura 4) uno que tiene un uso turístico el cual es el muelle “Nuevo Muelle de Pescadores” y el “Muelle de Pescadores de Progreso”. Este último es el que tiene un verdadero uso pesquero.

Otro uso pesquero que se puede mencionar es que se usa como un lugar para dejar pequeñas embarcaciones.

Uso turístico

Esta área se encuentra en la parte sur y es de las más transcurridas (figura 5), en ella se encuentra la playa de progreso (el apartado anterior también es considerado zona de playa, sin embargo, esta se llama así debido a su estética de turismo familiar. Asimismo, en la parte norte de la ZOFEMAT (véase figura 3) se localiza una pequeña playa que, pese a su potencial, no recibe la atención adecuada. En



Figura 3. Mapa a escala 1:20,000. Zona norte en donde convergencia de uso turístico (Zona en rojo) y vial rústico (Zonas en azul) además de una vista panorámica del ZOFEMAT.

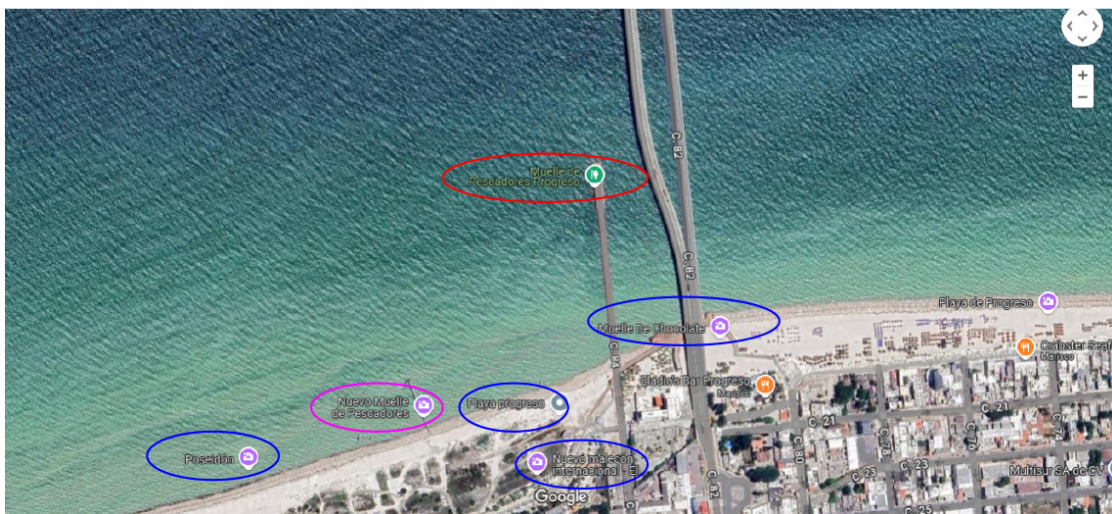
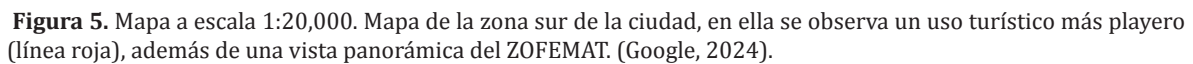


Figura 4. Mapa a escala 1:20,000. Mapa de la zona norte enfocado en zonas de pescadores (Zona en rojo). (Google, 2024).



A continuación, se presenta una propuesta de delimitación de la ZOFEMAT del municipio de Progreso, Yucatán, como ejercicio académico de este caso de estudio (figura 6).



Figura 6. Mapa para caracterizar la zona ZOFEMAT del municipio de Progreso, Yucatán pescadores (Franja Amarilla). Fuente: (Google, 2024).

Problemáticas socioecológicas en Progreso

El puerto de altura de Progreso, uno de los más importantes de la región, influye directamente en la ZOFEMAT debido a las actividades comerciales y la construcción de infraestructuras marítimas. Las instalaciones portuarias se ubican en terrenos ganados al mar, extendiéndose 7 km mar adentro. Están conectadas al continente por dos puentes de arco: uno vincula con la Terminal Intermedia (edificio Administrativo ASIPONA PROGRESO) y el otro permite el tránsito de unidades de carga y vehículos ligeros hacia la terminal remota. Ambos se enlazan con un viaducto de 4 carriles y 5 km de longitud, construido sobre relleno y protegido por escolleras de concreto (SEMAR, 2025a). Lo que permite el atraque de embarcaciones de gran calado. Desde allí se exportan e importan mercancías que se distribuyen por toda la península y regiones cercanas (SEMAR, S/F).

Por otro lado, durante el periodo 2015–2024, el puerto de Progreso mostró variaciones significativas en la composición de embarcaciones recibidas. En este periodo el promedio anual ha sido de 681 embarcaciones, destacando el año 2023 con 917 embarcaciones. Las embarcaciones de carga comercial representan el componente dominante, alcan-

zando su punto más alto en 2023 con 655 embarcaciones. Las embarcaciones con fines petroleros presentan una participación ha sido relativamente estable, con un pico en 2023 con 183 embarcaciones. Por otra parte, los cruceros tienen la menor participación, tienen una fuerte caída en 2020 y 2021 (con 44 y 22 embarcaciones respectivamente), probablemente por restricciones sanitarias. Sin embargo, en 2024 se observa una recuperación significativa (tabla 2).

El puerto cuenta con planes de contingencia ante peligros y riesgos por siniestros de origen natural y humano, como son: huracanes, norte violento (vientos huracanados), turbonada/tromba, sismo, tsunamis/maremoto, incendios y explosiones, derrames de petróleo u otro producto químico al mar, volcaduras con derrame de productos petrolíferos u otro producto químico, epidemias o pandemias, bloqueo al acceso terrestre del recinto portuario, obstrucción del canal de navegación, obstrucción de las vialidades por incidentes de tránsito vehicular o causas diversas, y fallas en el suministro de energía eléctrica (SEMAR, 2025a). Sin embargo, no se mencionan otros posibles impactos a la zona como la erosión costera.



Tabla 2. Evolución del tráfico marítimo de embarcaciones en puerto Progreso 2015-2024. Elaboración propia a partir de los datos de SEMAR 2025b.

Año	Carga comercial	Petroleros	Cruceros	Total
2015	336	119	115	570
2016	378	109	113	600
2017	394	138	136	668
2018	385	159	147	691
2019	373	179	146	698
2020	396	151	44	591
2021	443	166	22	631
2022	492	173	99	764
2023	655	187	75	917
2024	416	162	105	683

La zona costera de Progreso es un destino turístico muy popular, lo que ha incrementado la presión sobre sus playas y las infraestructuras cercanas. En el periodo 2015–2024, el puerto de Progreso recibió un total de 3 004 838 pasajeros en cruceros, cabe señalar que en el 2024 recibió a 317 579 pasajeros (SEMAR, 2025b). Esto ha generado la necesidad de concesiones específicas para las actividades dentro de la ZOFEMAT, como la instalación de mobiliario turístico, las cuales deben cumplir con regulaciones ambientales. Sin embargo, las playas de Progreso son especialmente vulnerables a la erosión costera debido al crecimiento de la infraestructura turística y las operaciones del puerto. Para mitigar estos impactos, la SEMARNAT y las autoridades locales deben implementar medidas de protección en la ZOFEMAT que garanticen la conservación ambiental.

En la costa de Yucatán se encuentra vegetación halófila, dunas costeras, matorrales, manglares, y sabanas húmedas. En el sistema de Ciénegas, el agua del acuífero aflora en varios puntos, destacando El Corchito, cerca de Progreso. Esta zona de cenotes tipo aguada está rodeada de vegetación diversa que alberga aves, crustáceos, moluscos y reptiles, ideal para la observación de flora y fauna (SEMAR, S/F). Las playas de Progreso son estrechas, con arena blanca y café claro, y pequeñas conchas.

Son escenario de turismo, paseos en lancha, pesca comercial y deportiva. A lo largo de la costa hay restaurantes y casas de playa. Esta la urbanización ha alterado significativamente el entorno de Progreso, persisten en las dunas fragmentos de vegetación como palmas y plantas rastreras. En invierno, la marea deposita cordones de algas a lo largo de la playa (SEMAR, S/F).

La participación de la comunidad juega un papel crucial en la gestión de la ZOFEMAT en Progreso. Involucrar a los residentes locales en las decisiones que afectan a la costa es fundamental para fomentar la sostenibilidad ambiental y garantizar que las políticas implementadas sean inclusivas y efectivas. La administración de la ZOFEMAT está a cargo del gobierno local y la SEMARNAT, quienes otorgan permisos y concesiones a empresas e individuos para el uso de la zona costera. Es esencial que estas concesiones sean monitoreadas cuidadosamente para que no afecten el equilibrio ambiental.

Las agrupaciones de la sociedad civil en Progreso, Yucatán, juegan un papel crucial en el desarrollo social, ambiental y cultural del municipio. Estas organizaciones tienen un impacto significativo en la economía, sostenibilidad y riqueza cultural. En este caso mencionamos algunas de ellas como pueden ser las cooperativas de pesca, y las agrupaciones turísticas.



Para esta región existen 296 unidades económicas pesqueras, de las cuales 42 son cooperativas pesqueras, y el resto son permisionarios y bodegas. Entre las cooperativas se encuentran: la Sociedad Cooperativa De Producción Pesquera Pescadores Del Golfo de México, que cuenta con un personal ocupado de 51 a 100 personas; la Cooperativa La Sierra Feliz donde laboran de 31 a 50 personas; la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera La Pobre De Dios, Pescadores Unidos De Chicxulub, Celestun, Xamaan Ha y Sociedad Cooperativa Frutos Del Mar con un personal ocupado de 11 a 30 personas respectivamente (INEGI, 2025).

En cuestión de las asociaciones turísticas la mayoría son de origen mexicano, pero no son originarios de progreso, estas agrupaciones tienden a la globalizarse esto debido a que sus páginas oficiales tienden a estar en el idioma inglés mostrando un mayor interés al público extranjero. Se tienen registradas 2 Unidades Económicas (UE) de Transporte turístico, 60 UE dedicadas al alojamiento temporal y 775 UE dedicadas a los Servicios de preparación de alimentos y bebidas (INEGI, 2025).

Diagnóstico del Manejo Integrado de la Zona Costera

Esquema PER (Presión, Estado y Respuesta)

Se realizó un esquema PER con el objetivo de evaluar y gestionar los problemas ambientales, sociales y económicos relacionados con las actividades humanas en este espacio costero. Este enfoque permite analizar las interacciones entre las presiones humanas, el estado del medio ambiente y las respuestas implementadas para mitigar los impactos (figura 7).

Propósito, visión y objetivos del programa MIZC

El propósito es promover un desarrollo sostenible en la zona costera de Progreso, Yucatán, mediante la conservación y restauración de sus ecosistemas, el uso responsable de los recursos naturales, y la participación activa de las comunidades locales, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y garantizar el bienestar de las generaciones futuras.

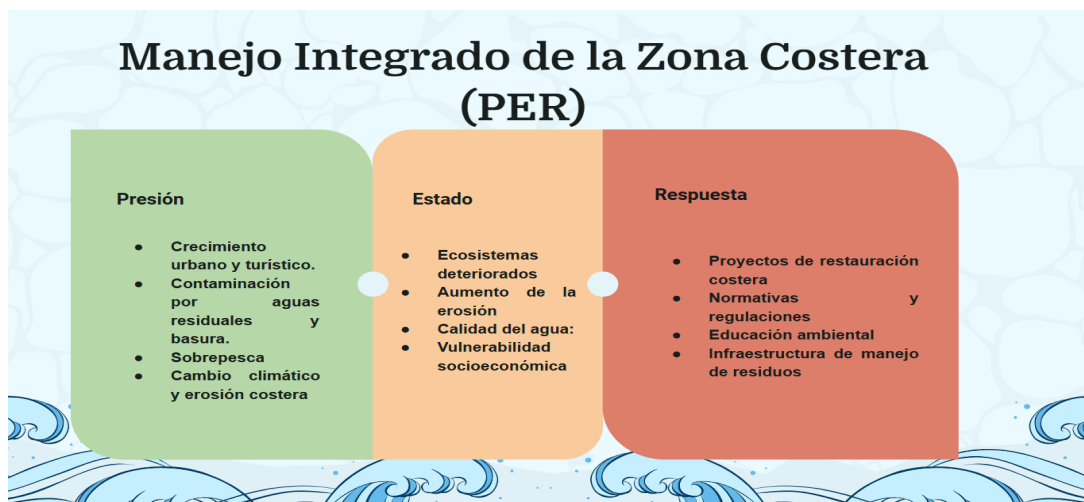


Figura 7. Esquema PER (Bobadilla et al., 2013)



La visión ser una zona costera ejemplar, reconocida por su equilibrio entre el desarrollo económico, la conservación ambiental y la cohesión social, donde la biodiversidad marina y terrestre esté protegida, y los recursos naturales sean aprovechados de manera sostenible, beneficiando tanto a las comunidades locales como a visitantes

Los objetivos de Conservación y Restauración del Ecosistema Costero son:

- Proteger los manglares, dunas, arrecifes y otros ecosistemas críticos que son esenciales para la biodiversidad y la protección contra fenómenos naturales.
- Implementar proyectos de restauración ecológica para áreas degradadas por la actividad humana.

Los objetivos de Desarrollo Sostenible y Económico son:

- Fomentar prácticas económicas sostenibles como el turismo ecológico, la pesca responsable y la acuicultura sustentable.
- Generar empleos verdes que estén alineados con la protección del medio ambiente y el desarrollo de la comunidad local.

Los objetivos de Conservación y Restauración del Ecosistema Costero son:

- Proteger los manglares, dunas, arrecifes y otros ecosistemas críticos que son esenciales para la biodiversidad y la protección contra fenómenos naturales.
- Implementar proyectos de restauración ecológica para áreas degradadas por la actividad humana.

Los objetivos de Desarrollo Sostenible y Económico son:

- Fomentar prácticas económicas sostenibles como el turismo ecológico, la pesca responsable y la acuicultura sustentable.
- Generar empleos verdes que estén alineados con la protección del medio ambiente y el desarrollo de la comunidad local.

Los objetivos de Gestión Responsable de los Recursos Naturales son:

- Regular y controlar el uso de los recursos hídricos, minerales y biológicos de la zona costera para evitar su sobreexplotación.
- Implementar medidas para la gestión adecuada de residuos sólidos y líquidos, evitando la contaminación del mar y las playas.

Los objetivos de Educación y Sensibilización Ambiental son:

- Crear programas educativos y de concienciación dirigidos a las comunidades locales, turistas y empresarios sobre la importancia de la conservación del medio ambiente.
- Fomentar la participación activa de la comunidad en proyectos de limpieza de playas, reforestación de manglares y otras iniciativas ambientales.

Los objetivos de Fortalecimiento de la Gobernanza y la Participación Comunitaria son:

- Involucrar a las comunidades locales, gobiernos, ONGs, académicos y el sector privado en la toma de decisiones para el manejo de la zona costera.
- Promover la creación de comités de vigilancia comunitaria para monitorear y proteger los recursos costeros.

Los objetivos de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático son:

- Desarrollar e implementar estrategias de adaptación al cambio climático, como la protección de infraestructuras clave frente a la erosión costera y el aumento del nivel del mar.
- Promover la resiliencia de los ecosistemas costeros frente a fenómenos climáticos extremos

Evaluación de los riesgos actuales y futuros

El ascenso del nivel del mar en las zonas costeras es una de las principales amenazas para Progreso. Las áreas bajas y planas cercanas a la costa pueden



inundarse, afectando tanto a la infraestructura como a las comunidades locales. Dentro de las zonas vulnerables a un incremento del nivel medio del mar en la cuenca geológica del golfo de México se encuentra la península de Yucatán (Torres-Mota *et al.*, 2014). En el golfo de México la tasa de aumento del nivel medio del mar va desde 1.0 [-1.6 a 3.6] mm año⁻¹, Progreso, cuenta con 3.7 [2.4 a 5.0] mm año⁻¹ (López Espinosa *et al.*, 2022).

Por otro lado, la frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas tropicales se ha incrementado. Estas tormentas traen consigo fuertes vientos, lluvias torrenciales e inundaciones costeras, que pueden causar daños severos en infraestructura, viviendas y en la economía local. El atlas de progreso 2018 nos dice que el municipio de Progreso debido a su localización sobre la franja costera es fuertemente vulnerable ante este tipo de fenómenos, además, que en el *Atlas de Peligros por Fenómenos Naturales del Estado de Yucatán de 2024* se menciona que de 2020 a 2024 progreso ha contado con afectaciones de al menos 3 ciclones tropicales (Ciclón Tropical Cristóbal, Ciclón Tropical Cristóbal Y Ciclón Tropical Beryl).

La acción constante del oleaje y las mareas, intensificada por el cambio climático, ha acelerado la erosión de las playas y las zonas costeras, afectando el turismo y las actividades económicas relaciona-

das. El atlas de riesgos de progreso 2018 lo marca como un desencadenante de otros fenómenos, como procesos de remoción en masa o bien el daño a infraestructura costera o viviendas colindantes a la línea de costa.

Progreso es propenso a inundaciones durante las temporadas de huracanes y tormentas tropicales (figura 8). Las marejadas ciclónicas pueden ser devastadoras para las comunidades costeras, ocasionando la pérdida de tierras e infraestructura. El atlas de riesgos de Yucatán 2024 clasifica a ambos con el potencial de causar daños devastadores a infraestructuras urbanas, ecosistemas sensibles y comunidades vulnerables.

Estrategias y acciones para manejar el riesgo por elevación del nivel del mar

Mencionaremos solo algunas de las acciones que pueden mitigar o reducir los riesgos, elevación del nivel del mar. La restauración ecosistémica favorece la adaptación social hacia los embates del cambio climático, así como el mejoramiento de la calidad de vida y la posibilidad de desarrollar medios de vida alternativos que benefician a las comunidades locales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2020).

Para manejar el riesgo por la elevación del nivel del mar en el municipio de Progreso, Yucatán, es

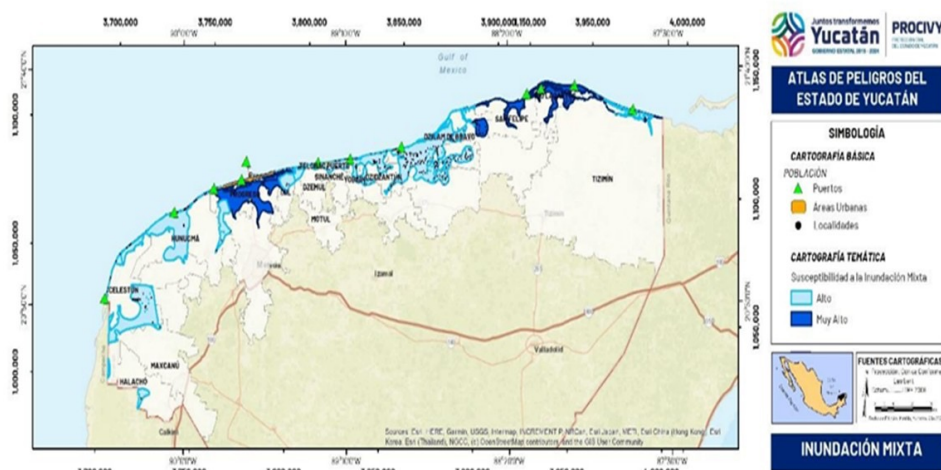


Figura 8. Atlas de Peligros por Fenómenos Naturales del Estado de Yucatán.

Fuente: Gobierno del Estado de Yucatán (2018).



fundamental considerar sus condiciones y características locales, como la geomorfología costera, la infraestructura urbana y la actividad económica basada en el turismo y la pesca. Una de las estrategias clave es el monitoreo y la evaluación del riesgo, lo que implica la implementación de sistemas de alerta temprana para detectar cambios en el nivel del mar y eventos extremos, así como estudios de modelación hidrodinámica para prever escenarios de inundación y erosión costera (López Espinosa *et al.*, 2022). Otra acción importante es la adaptación basada en ecosistemas, que incluye la restauración y conservación de manglares y dunas costeras como barreras naturales contra el oleaje y la erosión, además de la protección de praderas de pastos marinos que estabilizan los sedimentos y mitigan la erosión (Silva-Casarin *et al.*, 2018).

Asimismo, es necesario mejorar la infraestructura y el ordenamiento territorial, regulando el crecimiento urbano en zonas vulnerables mediante planes de ordenamiento ecológico y territorial, además de la construcción de infraestructura resiliente, como rompeolas y diques naturales, para reducir el impacto de la subida del mar (Yáñez-Arancibia & Day, 2010). Finalmente, la educación y la participación comunitaria son esenciales, por lo que se deben desarrollar programas de capacitación para comunidades costeras sobre medidas de adaptación y respuesta ante inundaciones, así como fomentar prácticas sostenibles en el sector turístico y pesquero para reducir la vulnerabilidad socioeconómica. Estas acciones deben integrarse en políticas públicas a nivel municipal y estatal, promoviendo una gestión costera basada en la resiliencia y el desarrollo sostenible.

Discusión

Los efectos ambientales que enfrentan las zonas costeras, como la erosión costera, el ascenso del nivel del mar, los eventos meteorológicos extremos y las inundaciones provocadas por marejadas ciclónicas, representan un desafío crítico para la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico y el bienestar social. La pregunta central es si estamos a tiempo para prevenirlos, considerando las tendencias actuales y las acciones implementadas.

La prevención completa de estos fenómenos no es posible, ya que muchos de ellos son consecuencias directas de cambios climáticos globales en curso. Sin embargo, sí es factible mitigar sus impactos a través de estrategias de manejo integrado. El uso de enfoques preventivos, como la restauración de ecosistemas clave (manglares y dunas costeras) y la implementación de infraestructura verde, puede reducir significativamente los daños asociados. Por ejemplo, los manglares no solo actúan como barreras naturales contra marejadas, sino que también contribuyen a la captura de carbono, lo que ayuda a desacelerar el cambio climático. No obstante, es

tas acciones requieren inversiones inmediatas y una coordinación multisectorial efectiva.

El tiempo para actuar es ahora, ya que el retraso solo agravará los problemas y aumentará los costos futuros. Las proyecciones sugieren que, sin intervención, el ascenso del nivel del mar y la pérdida de infraestructura costera podrían desplazar a comunidades enteras y generar impactos económicos irreversibles.

A pesar de los riesgos, existen oportunidades de crecimiento económico si se adopta un enfoque sostenible. El desarrollo de actividades como el ecoturismo, la pesca sostenible y la generación de empleos verdes puede no solo diversificar la economía local, sino también fortalecer la resiliencia comunitaria. Por ejemplo, invertir en la restauración de ecosistemas costeros genera empleo en el corto plazo y beneficios ecológicos y económicos a largo plazo.

Asimismo, la innovación tecnológica y la inversión en infraestructura resiliente pueden fomentar un desarrollo económico adaptado al cambio cli-



mático. Sin embargo, es crucial que este crecimiento no sea a expensas del medio ambiente, como ha ocurrido en algunas zonas costeras que priorizan el turismo masivo y la urbanización descontrolada.

Los beneficiados son para la sociedad, dichos beneficios se pueden clasificar en tres rubros. El primero es el transporte, El transporte marítimo está intrínsecamente vinculado con el comercio internacional y el desarrollo sostenible. Al respecto, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD. 2019) señala que el transporte marítimo representa el 80 % del volumen y el 70 % en valor del comercio internacional. También se tiene que 92.295 buques participaron en el comercio marítimo internacional durante 2018. El promedio de edad de los buques es de 21 años. Además, el transporte marítimo sobrepasó los 11 mil millones de toneladas transportadas en el año antes mencionado.

El segundo beneficio es la pesca como actividad del sector productivo primario, esta requiere de generación de conocimiento como soporte a la ad-

ministración del uso de los recursos pesqueros, y como política general, se define como objetivo el uso sustentable de los mismos. Respecto a las ganancias, se logró un total de 47 mil 239 millones de pesos generados por la producción acuícola y de pesca, cifras que se generaron al final del año 2021, si se comparan las utilidades con el año anterior se tiene una mejoría del 7.5 % (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

Respecto a las ganancias, se logró un total de 47 mil 239 millones de pesos generados por la producción acuícola y de pesca, cifras que se generaron al final del año 2021, si se comparan las utilidades con el año anterior se tiene una mejoría del 7.5 %. Por último, se tiene el turismo, en el caso particular de Yucatán, si hay empresas turísticas ejidales que brindan servicios turísticos, sin embargo, la economía se mueve más por familias que reunidos buscan alguna actividad turística para emprender y continuar con el flujo de la economía (Lemas & García, 2019).

Conclusión

La gestión de los efectos ambientales en las zonas costeras, como la erosión, el ascenso del nivel del mar, los eventos meteorológicos extremos y las inundaciones, requiere una combinación urgente de prevención, adaptación y restauración. Aunque no es posible eliminar completamente estos impactos debido a su vínculo con procesos globales como el cambio climático, sí estamos a tiempo de implementar estrategias que reduzcan significativamente los riesgos y protejan tanto a las comunidades como a los ecosistemas. El desarrollo económico y el crecimiento son viables siempre que se enfoquen en actividades sostenibles, como el ecoturismo y la restauración de ecosistemas, las cuales no solo ge-

neran empleo, sino que también fortalecen la resiliencia frente a desastres naturales. Sin embargo, es fundamental garantizar que los beneficios se distribuyan de manera equitativa, priorizando a las comunidades más vulnerables que dependen directamente de los recursos costeros para su subsistencia.

En este contexto, la inclusión de la población local en la toma de decisiones, la inversión en infraestructura resiliente y la aplicación de políticas integradas son claves para un desarrollo balanceado. Solo a través de una gobernanza efectiva y la cooperación entre sectores públicos, privados y comunitarios se podrá asegurar un futuro sostenible para las zonas costeras y sus habitantes.



Referencias

- Ayuntamiento de Progreso (2018). Atlas de Riesgo Naturales, Progreso, Yucatán. <https://ayuntamientodeprogreso.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/2020/09/Atlas-Progreso-15072018.pdf>
- Babinger, F. (2015). Impacto de los cruceros en la economía local y regional: El caso de Progreso, Yucatán, México. *Temas Pendientes y Nuevas Oportunidades en Turismo y Cooperación al Desarrollo*; Nel-lo Andreu, M., Campos Cámara, B.L., Sosa Ferreira, A.P., Eds, 268-278.
- Bobadilla, M., Espejel, M., Lara, F., Álvarez, S., Ávila, S., Ferman, J. (2013). Esquema de evaluación para instrumentos de política ambiental. *Política y cultura*, (40): 99-122.
- CONEVAL. (2020). Medición de la pobreza. Estimaciones de CONEVAL. coneval.org.mx
- CTNC. (s.f.). Storm surge barriers and closure dams. <https://www.ctc-n.org/technologies/storm-surge-barriers-and-closure-dams>
- Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera. (2016). Listado de permisionarios adheridos al programa de buenas prácticas de manejo a bordo en embarcaciones menores. SENASICA. <http://publico.senasica.gob.mx/?doc=30175>
- DOF. (1991). Reglamento Para El Uso Y Aprovechamiento Del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre Y Terrenos Ganados Al Mar
- Durán R. y Méndez M. (2010). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 (5) pp. <https://www.cicy.mx/sitios/biodiversidad-y-desarrollo-humano-en-yucatan#Cap1>
- Gobierno de México. (2013). Puerto Progreso, Yucatán. DIGAOMH. <https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioProgreso.pdf>
- Gobierno de México. (2022). Crece 7.5% valor de la producción pesquera de México en 2021. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-7-5-valor-de-la-produccion-pesquera-de-mexico-en-2021>
- Gobierno de México. (2022). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2024. Secretaría de Bienestar. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/890493/31059Progreso2024.pdf>
- Gobierno de México. (n.d.). Progreso: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/progreso-31059?redirect=true#disability-section>
- Gobierno de Yucatán. (2024). Municipio de Progreso. <https://www.yucatan.gob.mx/?p=progreso>
- Gobierno del Estado de Yucatán. (2018). Atlas de Peligros por Fenómenos Naturales del Estado de Yucatán. https://www.yucatan.gob.mx/docs/prociv/archivos/atlas_de_riesgos_de_yucatan_2024.pdf
- Google. (2024). Google Earth. www.google.com.mx/earth
- INEGI. (2020). Panorama sociodemográfico de Yucatán 2020. Censo de población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198046.pdf
- INEGI. (n.d.). *Progreso, Yucatán*. México en cifras. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000310059#collapse-Resumen>
- Instituto Estatal de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Protección de Datos Personales (INAIP). (2022). ZOFEMAT de Progreso, Yucatán. Consultado el 16 de octubre de 2024: <https://www.inaipyucatan.org.mx/Transparencia/Portals/0/pdf/recursosrevision/RR2022/3382022.pdf>
- López Espinosa, E. D., Gómez Ramos, O., Zarza Alvarado, M. A., Zavala Hidalgo, J., & Osorio Tai, M. E. (2023). El cambio en el nivel medio del mar en las costas mexicanas. En: Estado y perspectivas del cambio climático en México. Un punto de partida. Reporte técnico, Programa de Investigación en Cambio Climático, UNAM
- Martínez-Rivera, W., Ordaz-Hernández, A., & Garatachia-Ramírez, J.C. (2020). Evolución de la línea de costa de la península de Yucatán entre 1980 y 2019: Potencial fuente de riesgo siconatural. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122020000400404&script=sci-art-text>
- PROFEPA. (2016). ¿Qué es la Zona Federal Marítimo Terrestre? gob.mx. <https://www.gob.mx/profepa/es/acciones-y-programas/que-es-la-zona-federal-maritimo-terrestre-56672>
- Pronatura Veracruz. (s.f.). Costos de la restauración ecológica. https://pronaturaveracruz.org/manglares_bosque_niebla/ef_re_costos.php
- RAMSAR. (2022). Ficha informativa FIR para el Sitio núm. 2468, Reserva Estatal Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán, México. https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX2468RIS_2211_es.pdf
- RAMSAR. (2022). Reserva Estatal Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán. <https://rsis.ramsar.org/es/ris/2468?language=es>
- Rey, W., Martínez-Amador, M., Salles, P., Mendoza, E.T., Trejo-Rangel, M.A., Franklin, G.L., Ruiz-Salcines, P., Appendini, C.M., & Quintero-Ibáñez, J. (2020). Assessing different flood risk and damage approaches: A case of study in Progreso, Yucatan, Mexico. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(2): 137. <https://doi.org/10.3390/jmse8020137>
- Reyes-Bonilla, H., Díaz-Castro, S.C., & González-Baheza, A. (2020). El incremento del nivel del mar: Afectación en costas mexicanas. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 13.
- SEMAR. (2025a). Planes De Contingencia Del Puerto. <https://www.puertosityucatan.com/sp/files/2025/PLAN%20DE%20CONTINGENCIA%20DEL%20PUERTO.pdf>



- SEMAR. (2025b). Movimiento Portuario Anual, Administración Del Sistema Portuario Nacional Progreso, S.A. de C.V. <https://www.puertosyucatan.com/es/Historicas/Estad%C3%ADstica%20Historica%202015-2025.pdf>
- SEMAR. (S/F). Puerto Progreso, Yucatán I. Datos Generales Del Puerto. <https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioProgreso.pdf>
- Silva, A. T. (2018). Un marco para la evaluación multisectorial de los riesgos del cambio climático en zonas costeras (Doctoral dissertation, Universidad de Cantabria).
- Sosa Gómez, P., Bojórquez González, E., & Ricalde Franco, G. (2021). Descripción del perfil y percepción del grado de satisfacción del turista de Puerto Progreso, Yucatán. *COLPARMEX*, 7(18). <http://colpamex.com/wp-content/uploads/2022/06/18-IM.pdf#page=150>
- Stokstad, E. (2021, 29 de noviembre). Venice's barrier against rising seas could jeopardize city's ecosystem. Science. <https://www.science.org/content/article/venice-s-barrier-against-rising-seas-could-jeopardize-city-s-ecosystem>
- Torres-Mota, R., Salles, P., & López-González, J. (2014). Efectos del aumento del nivel del mar por cambio climático en la morfología de la ría de Celestún, Yucatán. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(5), 5-20. Recuperado en 27 de noviembre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000500001&lng=es&tlng=es.
- Yañez-Arancibia, A., & Day, J. W. (2010). La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, & G. J. Villalobos-Zapata (eds.), *Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino* (págs. 3-22). Campeche, Campeche: Universidad Autónoma de Campeche CE-TYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Yucatán Ahora. (2019, abril 16). Progreso, un dechado de problemas sociales. <https://yucatanahora.mx/progreso-un-dechado-de-problemas-sociales/>



Pam Barcel, J., Peña-Puch, A.C., Rivera-Arriaga, E. 2025. Síntesis Diagnóstica del Manejo Integrado Costero en los Países Bajos. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(2): 25-44. doi 10.26359/52462.0707



Síntesis Diagnóstica del Manejo Integrado Costero en los Países Bajos

Diagnostic Synthesis of Integrated Coastal Management in The Netherlands

Javier Pan Barcel¹, Angelina del Carmen Peña-Puch^{2,} y Evelia Rivera-Arriaga²*

¹ Posgrado Multidisciplinario para el Manejo de la Zona Costero-Marina, Instituto EPOMEX- Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche.

² Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche

** autor de correspondencia: angcpena@uacam.mx*

doi 10.26359/52462.0707

Recibido 01/enero/2025. Aceptado 20/mayo/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

El Manejo Integral de Zonas Costeras (MIZC) es una estrategia global esencial para afrontar los desafíos de las áreas costeras, especialmente en Países Bajos, un país vulnerable a inundaciones y a la elevación del nivel del mar. La implementación del MIZC requiere la coordinación entre instituciones, políticas públicas y la participación ciudadana para mantener el equilibrio entre la conservación de ecosistemas y sus servicios y el bienestar social y el desarrollo de actividades económicas como la agricultura, pesca y turismo, entre otros. El objetivo de este artículo es hacer un diagnóstico rápido sobre el estado que guarda el manejo costero integrado a través de la metodología del Decálogo de Gestión Costera propuesto por Barragán (2014), el cual proporciona un marco útil para mejorar aspectos administrativos y jurídicos mediante la identificación de políticas, normativa, recursos y educación para la sostenibilidad, y su modelo FPEIR permite abordar problemas ambientales de manera integrada. Una adecuada implementación fortalecería la resiliencia de Países Bajos ante el cambio climático, protegiendo sus ecosistemas, comunidades e infraestructura costeras. Este diagnóstico pudo detectar que la incorporación del MIZC en las políticas públicas holandesas evidencia un compromiso con la sostenibilidad. Su efectividad requiere continuidad, recursos y medidas concretas. Aunque la legislación ambiental establece principios generales, es mediante regulaciones específicas que se aborda el manejo marino y costero, las cuales deben adaptarse a los nuevos desafíos. La planificación de inversiones debe equilibrar desarrollo económico y conservación, incluyendo la participación de comunidades locales en decisiones y beneficios. Para superar la escasa participación ciudadana, se requiere integrar a las comunidades, fortalecer la educación ambiental y mejorar los mecanismos de información.

Palabras claves: Decálogo de gestión costera, manejo costero, Países Bajos.

Abstract

Integrated Coastal Zone Management (ICZM) is a key global strategy for addressing the challenges faced by coastal areas, particularly in the Netherlands—a country highly vulnerable to flooding and sea-level rise. The effective implementation of ICZM requires coordination among institutions, public policies, and citizen participation to maintain a balance between ecosystem conservation and the development of economic activities such as agriculture, fisheries, and tourism, while ensuring social well-being. This article aims to present a rapid diagnostic of the current state of coastal management using the Decálogo de Gestión Costera methodology proposed by Barragán (2012). This framework offers useful guidance for improving administrative and legal aspects through the identification of policies, regulations, resources, and education for sustainability. Additionally, its FPEIR model enables an integrated approach to environmental issues. Proper implementation would enhance the Netherlands' resilience to climate change, safeguarding its coastal ecosystems, communities, and infrastructure. The diagnosis reveals that the inclusion of ICZM in Dutch public policy demonstrates a clear commitment to sustainability. However, its success depends on continuity, adequate resources, and concrete measures. While environmental legislation establishes general principles, specific regulations address marine and coastal resource management and must adapt to emerging challenges. Investment planning must strike a balance between economic growth and environmental protection, ensuring that local communities participate in decision-making and equitably benefit from coastal economic activities. Overcoming low levels of public engagement requires integrating communities, strengthening environmental education, and establishing effective information-sharing mechanisms.

Keywords: Management Decalogue, coastal management, the Netherlands.



Este artículo es parte de un conjunto de trabajos de los alumnos de la Maestría Multidisciplinaria para el Manejo de la Zona Costero-Marina del Instituto epomex, Universidad Autónoma de Campeche, que fue publicado en el Volumen especial 1 (2024), que contiene el análisis rápido de la capacidad de algunos países para implementar un programa de manejo integrado costero. Cada artículo utilizó la metodología propuesta por Barragán (2014) “Decálogo para la gestión integrada” que permite analizar el progreso legal, social, económico, político e institucional para implementar el manejo integrado costero en cada país.

Barragán Muñoz, J.M., 2014. Política, Gestión y Litoral, Unesco. Regional Office for Science and Technology for Latin America and the Caribbean, Editorial Tébar Flores, 685 p.

Introducción

Las zonas costeras son fundamentales por su valor ecológico, económico y social, al albergar ecosistemas como humedales y manglares que proveen servicios esenciales y contribuyen a la resiliencia climática (Klein *et al.*, 2014). No obstante, enfrentan fuertes presiones humanas, urbanización y cambio climático (Neumann *et al.*, 2015). Frente a estos desafíos, el Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) surge como una estrategia dinámica, participativa y multidisciplinaria que impulsa el desarrollo sostenible, la conservación ecosistémica y el bienestar comunitario (Cicin-Sain *et al.*, 1999). Este enfoque articula conocimiento científico, gestión de recursos y participación ciudadana para equilibrar intereses de conservación y desarrollo (Cummins & McKenna, 2010).

En los Países Bajos, país altamente vulnerable a inundaciones, el MIZC ha sido clave en proyectos como Delta Works y Room for the River, que combinan adaptación climática y restauración ecológica, sirviendo como modelos internacionales (Rijke *et al.*, 2012) y han impulsado un cambio de paradigma, pasando de la solo elevación de diques a una gestión integrada del riesgo, que combina seguridad hidráulica, calidad paisajística y participación social (Zevenbergen *et al.*, 2015; Klijn *et al.*, 2018; Verweij *et al.*, 2021; van Alphen, 2019). Este artículo propone un diagnóstico rápido sobre los insumos disponibles mediante el Decálogo de Gestión Costera (Barragán, 2012), útil para mejorar capacidades administrativas, normativas y educativas orientadas a la sostenibilidad.



Ubicación geográfica y generalidades

Países Bajos se sitúan en el noroeste de Europa, limitan al norte y oeste con el mar del Norte, al sur con Bélgica y al este con Alemania y posee un total de 1 275 km de línea de costa (figura 1), (CE, 2009). El territorio se divide en un total de 12 provincias, donde 3 municipios se encuentran en islas del Mar del Caribe (Wadden Sea, 2023).

La costa de los Países Bajos se extiende aproximadamente 451 km y presenta una diversidad de paisajes que incluyen playas, dunas y marismas (Waldman *et al.*, 2019). La llanura costera es propensa a la erosión y requiere atención constante para mantener su integridad. En los Países Bajos, el 60% de la población vive en áreas susceptibles de inundarse, ya sea por las crecidas de los ríos o por tormentas en la costa; el 25 % de los 17 millones de habitantes vive en territorios que está bajo el nivel del mar (González, 2023). Sin embargo, los patrones climáticos han cambiado en las últimas décadas, aumentando la frecuencia de eventos extremos (Klein 2021) y la vulnerabilidad y riesgo de los habitantes, economía, e infraestructura.



Figura 1. Ubicación de Países Bajos.
Fuente OCHA Services, 2020.

División de la costa en subregiones

La costa de los Países Bajos se puede dividir en tres subregiones principales (figura 2):

- Parte del Delta (zona sur): Dominada por dinámicas mareales.
- Costa de Holanda (parte central): Morfología arenosa dominada por tormentas.
- Mar de Frisia (zona norte): Caracterizada por islas barrera, con una morfología similar a la costa del Delta.

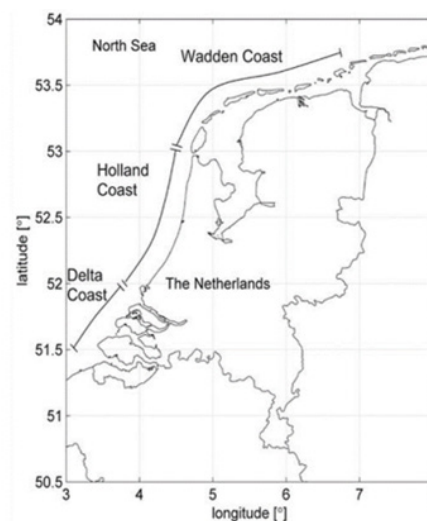


Figura 2. Subregiones de la costa de Países Bajos.
(Fuente: Giardino *et.al.*, 2009).



Características ambientales, socio económicas, culturales y geológicas

Características ambientales

El ecosistema costero de los Países Bajos está conformado por estuarios, llanuras de marea y dunas, destacando el Mar de Wadden por su biodiversidad y función en la protección contra inundaciones (Gerritsen, 2005). Especies como *Ammophila arenaria* son esenciales para la estabilidad de las dunas costeras (Arens *et al.*, 2001). El aumento del nivel del mar, las tormentas intensas y la erosión costera amenazan estos ecosistemas. Ante ello, Países Bajos ha adoptado enfoques innovadores como la “Ingeniería Verde”, promoviendo hábitats naturales para proteger la costa de manera sostenible (Rijkswaterstaat, 2014).

Los Países Bajos han recuperado alrededor de 7 000 km², un tercio de su territorio actual (figura 3), desde la Edad Media, intensificándose en el siglo XVII con sistemas de drenaje y diques. Los polders, áreas protegidas por diques, son usados para agricultura, urbanización y conservación ambiental. Ejemplos destacados son el Noordoostpolder (1942) y la provincia de Flevoland (1986) (Earth Magazine, 2011).

La erosión costera es un desafío crítico para los Países Bajos, cuya geografía los hace vulnerables. Durante tormentas, las dunas pueden retroceder

hasta 100 metros (Bosboom & Stive, 2024). Para mitigar estos efectos, se han adoptado medidas como la reposición de arena y estructuras de protección (González Parejo, 2016). Con un 60 % del territorio propenso a inundaciones, el país enfrenta riesgos crecientes, como lo evidenció la intensa lluvia de julio de 2021 que afectó a Limburgo, Brabante Septentrional y Zelanda. Estas precipitaciones han sido vinculadas al cambio climático (El Periódico de la Energía, 2021).

Características socioeconómicas

En noviembre de 2024, la población de los Países Bajos alcanzó los 18 045,683 habitantes (figura 4), según los datos más recientes del Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2024). Con base en el Producto Interno Bruto (PIB) reportado en 2023, que fue de 1,068 mil millones de euros, y asumiendo un crecimiento económico moderado, se estima que el (PIB) *per cápita* en 2024 se mantuvo cercano al de 2023, que fue de aproximadamente 58 000 euros. Este indicador refleja la fortaleza económica de los Países Bajos como una de las economías más desarrolladas de Europa, caracterizada por un alto nivel de vida y una distribución moderada del ingreso entre su población.



Figura 3. Extensión territorial de Países Bajos en 1300 (izquierda) y la extensión actual (derecha). Fuente: Earth Magazine (2018).

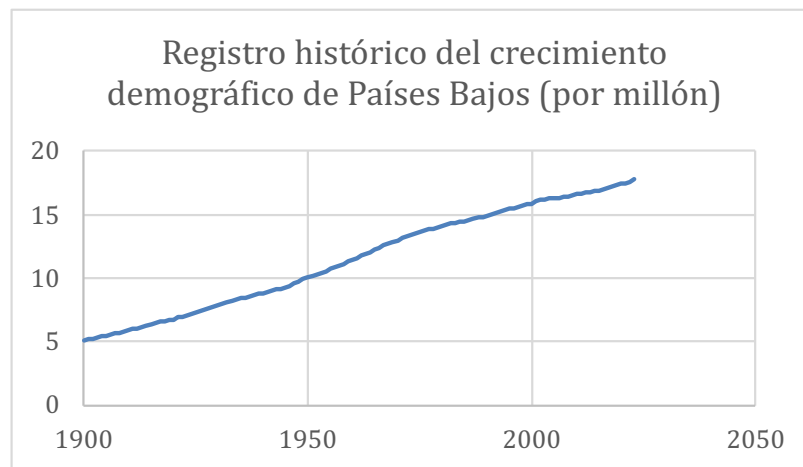


Figura 4. Crecimiento poblacional de Países Bajos. (Fuente: Centraal Bureau voor de Statistiek, 2024).

Las zonas costeras de los Países Bajos concentran más del 60 % de la población y albergan infraestructura estratégica como puertos, aeropuertos y zonas industriales clave (Steele *et al.*, 2017; World Bank, 2021). Ciudades como Rotterdam y Ámsterdam dependen de su acceso marítimo para el comercio y la logística. El turismo destaca como actividad económica relevante, junto con la pesca, importante en comunidades específicas, a pesar de su disminución. La agricultura en pólderes sigue vigente, aumentando la necesidad de sistemas eficaces de manejo del agua (Van der Meulen, 2003).

Características culturales

La relación histórica y cultural de los Países Bajos con el agua es un aspecto importante en la forma en que el país ha diseñado sus estrategias de adaptación costera. La construcción de diques, sistemas de pólderes y la constante batalla contra el agua ha moldeado no solo la geografía, sino también la identidad del país. Los neerlandeses han sido pioneros en la ingeniería del agua, siendo reconocidos por su capacidad para transformar áreas inundables en tierra productiva, lo que es evidente en la infraestructura de control de inundaciones, como la Barrera de Tormentas del Delta (Delta Works) (figura 5) (Zevenbergen *et al.*, 2013).

Las prácticas tradicionales de las comunidades costeras y pueblos pesqueros se han integrado al MIZC para el uso sostenible del entorno costero. Estas incluyen la construcción y el mantenimiento de diques y pólderes para gestionar el agua y proteger los asentamientos contra inundaciones, un legado medieval. También destacan técnicas de



Figura 5. Mapa del Mar de Wadden, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, abarcando áreas protegidas en los Países Bajos, Alemania y Dinamarca. (Fuente: Wadden Sea World Heritage, 2014).



pesca artesanal, cooperativas pesqueras que regulan el acceso a los recursos y el uso de embarcaciones tradicionales. Las prácticas de conservación de alimentos, como el ahumado y salado del pescado, reflejan un profundo entendimiento del medio ambiente costero (Van Koningsveld, 2008).

Características geológicas

Geológicamente, los Países Bajos poseen un litoral dinámico moldeado por la sedimentación de los ríos Rin, Mosa y Escalda, junto con la influencia del Mar del Norte (figura 6). Esta interacción ha generado planicies y dunas costeras que protegen frente a inundaciones, aunque el 26 % del territorio se encuentra por debajo del nivel del mar (Steele *et al.*, 2017). La subsidencia del suelo, causada por la extracción de agua subterránea y el asentamiento de sedimentos, incrementa la vulnerabilidad, requiriendo monitoreo constante y ajustes en la infraestructura de protección (Van der Meulen, 2003).



Figura 6. Barrera de Tormentas del Delta (Delta Works). (Fuente: Avakkian, 2022).

Recursos naturales costero-marinos

Los ecosistemas costeros de los Países Bajos son fundamentales para la biodiversidad y la resiliencia ambiental. Albergan aves migratorias, peces y plantas endémicas esenciales para la salud marina y terrestre (Smit *et al.*, 2020), incluyendo especies destacadas como la espátula euroasiática (*Platalea leucorodia*), el águila pescadora (*Pandion haliaetus*) y orquídeas adaptadas a dunas costeras (Van Dijk *et al.*, 2015).

Para proteger la biodiversidad, los Países Bajos han establecido una red de áreas naturales protegidas, como el Parque Nacional del Mar de Wadden, Zuid-Kennemerland y De Biesbosch (UNESCO; Rijkswaterstaat, 2022). Estos ecosistemas son vitales para especies amenazadas, la mitigación climática y la defensa contra inundaciones. Su conservación integra prácticas tradicionales y soluciones de ingeniería para fomentar una convivencia sostenible con el entorno (Van Koningsveld *et al.*, 2008).



Intervenciones humanas

Alrededor del 15 % de la costa de Países Bajos consisten en diques costeros y otras barreras hechas por el hombre, un 10 % de la costa consiste en playas planas alrededor de las islas del Mar de Frisia y un 75 % consiste en zonas dunares de distinta anchura que oscilan desde 100 m hasta varios km (Van Koningveld & Mulder, 2003).

Las intervenciones humanas, como los “Delta Works” (figura 7) y el sistema de diques, han transformado el paisaje costero. Si bien estos proyectos han mejorado la seguridad contra inundaciones, también han tenido efectos adversos sobre algunos hábitats naturales y la biodiversidad (Peters *et al.*, 2021). Los expertos consideran que la planificación sostenible mitiga estos impactos negativos a través de la restauración de ecosistemas y el manejo basado en la adaptación.

En este contexto, el programa Room for the River, que, aunque se implementa principalmente en los grandes ríos, forma parte de la misma estrategia nacional de gestión del agua y el litoral pues, en lugar de seguir elevando diques, se incrementa la capacidad de transporte de avenidas fluviales mediante la recuperación de llanuras de inundación, ensanchamiento de cauces y reconexión de antiguos polders (Klijn *et al.*, 2018). Estudios recientes destacan que estas intervenciones reducen el riesgo de falla de diques, generan nuevos hábitats inundables y mejoran el paisaje, al tiempo que re-



Figura 7. Delta Works Barrera Tormentas de Países Bajos. (Fuente: Hollandlandofwater.com)

quieren arreglos de gobernanza más complejos, con una combinación de instrumentos normativos, de planificación y de participación comunitaria (Verweij *et al.*, 2021; van Alphen, 2019). Así, los Delta Works y el sistema de diques siguen siendo la columna vertebral de la protección costera, pero se complementan con proyectos que “dan espacio al agua” y buscan equilibrar seguridad, conservación de ecosistemas y desarrollo territorial sostenible.

Amenazas costeras

A lo largo de su historia, los Países Bajos han enfrentado inundaciones extremas, como la del Mar del Norte en 1953, que motivó el Plan Delta, obra clave de protección hidráulica (Canon van Nederland, *s.f.*). Estrategias recientes como Espacio para el río buscan mejorar la gestión hídrica frente al cambio climático (El País, 2024).

Desde el siglo XXI, la erosión costera y la intrusión salina han ganado relevancia en las políticas de manejo costero. Estos fenómenos afectan ecosistemas vulnerables y comprometen la calidad del agua, especialmente en los polders agrícolas, donde el aumento del nivel del mar y la reducción de descargas fluviales intensifican los riesgos (Ligtvoet *et al.*, 2013; Gallego Jiménez, 2020).



Modelo de Indicadores FPEIR para MIZC

Se plantean los siguientes indicadores para elaborar un modelo FPEIR (tabla 1) que permita evaluar y gestionar los desafíos costeros de los Países Bajos, un país históricamente afectado por eventos meteorológicos extremos y desastres costeros, donde

la inundación es una de las principales amenazas debido a su baja elevación. Sin embargo, para efectos de este trabajo nos limitaremos a desarrollar un análisis general con base en ellos.

Metodología

Para el diagnóstico del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) en los Países Bajos, se abordaron los temas fundamentales propuestos en el Decálogo de Gestión Costera (tabla 2), organizados en las siguientes categorías: marco político y normativo; instituciones y asignación adecuada de com-

petencias; instrumentos estratégicos y operativos; recursos financieros y materiales; conocimientos esenciales: investigación, monitoreo e información; formación y capacitación; educación para la sostenibilidad y participación comunitaria.

Tabla 1. Indicadores para identificar las amenazas costeras mediante modelo FPEIR.

Forzante	Presión	Estado	Impacto	Respuesta
Cambio en el nivel del mar (mm/año).	Expansión urbana en zonas costeras (hectáreas/año).	Vulnerabilidad del litoral a la erosión (metros/año).	Pérdida de biodiversidad (número de especies en peligro).	Plan MIZC (presencia y actualización).
Frecuencia de eventos de subsidencia (número/año).	Extracción de agua subterránea (m ³ /año).	Calidad de los ecosistemas costeros (índice de salud ambiental).	Daños económicos por inundaciones (millones de euros/año).	Marco legal y político para costas y mares (presencia y actualización).
Temperatura media anual (°C).	Destrucción de ecosistemas costeros (No/año).	Nivel de salinización del agua en pólderes (ppm).	Efectos en especies migratorias (número de individuos afectados).	Instituciones gubernamentales (capacidades instaladas y cumplimiento para implementación).
Eventos de lluvia y sequía extremos.	Número de turistas en áreas protegidas (visitas/año).			Inversión en proyectos de protección costera (millones de euros/año).
				- Implementación de la Estrategia del Delta (cumplimiento en %).
				Número de proyectos de Ingeniería Verde (proyectos/año)

**Tabla 2.** Síntesis diagnóstica del Manejo Integrado en Iberoamérica (Barragán Muñoz, 2012).

Competencias	En la mayoría de los países, las competencias para el MIZC todavía están centralizadas, aunque se observan algunas tendencias hacia la descentralización.
Instituciones	Desde la década de 1990, los países han estado desarrollando un marco institucional más adecuado para el MIZC, siguiendo lo establecido en el capítulo 17 de la Agenda 21.
Instrumentos	Se han identificado múltiples iniciativas a niveles regionales y locales que se han convertido en los principales instrumentos para implementar políticas y normas.
Formación y capacitación	Actualmente, la región muestra progresos en la creación y consolidación de programas de formación de maestrías y posgrados en MIZC.
Recursos	Es habitual la escasez generalizada de recursos económicos asignados específicamente a programas de MIZC.
Conocimiento e Información	Se están realizando esfuerzos significativos para generar información útil que facilite la toma de decisiones y mejore el manejo de los espacios marinos y costeros.
Educación y sostenibilidad	Hay un creciente interés en iniciativas de educación ambiental centradas en el entorno costero y marino.
Participación	Se está promoviendo cada vez más la creación de mecanismos que faciliten la participación ciudadana en el proceso de toma de decisiones.

Proceso del MIZC: Fases e importancia

El proceso del MIZC sigue una serie de fases que estructuran el manejo de las zonas costeras de manera eficiente y sostenible. A continuación, se explican estas fases clave y su relevancia en el manejo costero:

- **Identificación de asuntos clave:** Se analiza la erosión, el aumento del nivel del mar, pérdida de biodiversidad y urbanización costera, incorporando participación pública para soluciones contextualizadas (Cicin-Sain & Knecht, 1998).
- **Preparación del plan:** Se diseñan estrategias coordinadas entre niveles de gobierno y sociedad civil, evaluando impactos ambientales y sociales (McKenna *et al.*, 2008).
- **Adopción formal y financiamiento:** El plan es aprobado legalmente y respaldado por cooperación entre sectores y fondos europeos, garantizando sostenibilidad financiera (Sorensen, 2002).
- **Implementación:** Se ejecutan acciones como infraestructuras de protección y restauración de hábitats, adaptándose a nuevas amenazas (Steele *et al.*, 2017).
- **Evaluación:** Se monitorean resultados, ajustan estrategias y miden impactos en conservación, economía y cohesión social. En Países Bajos, esta etapa es clave ante amenazas dinámicas como el cambio climático (Cicin-Sain & Knecht, 1998).



MODELO Fuerza-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR)

El modelo FPEIR es un marco analítico utilizado para evaluar la interacción entre el ambiente y las actividades humanas (tabla 3). Este enfoque permite identificar los factores que impulsan los cambios

en el ecosistema, los impactos que generan, y las respuestas necesarias para mitigar dichos efectos, promoviendo la sostenibilidad (Kristensen, 2004).

Tabla 3. Modelo FPEIR.

Forzante	Presión	Estado	Impacto	Respuesta
Los forzantes son factores externos como el cambio climático, la expansión demográfica o el avance tecnológico, que influyen en el sistema ambiental. En las zonas costeras, los forzantes incluyen fenómenos como el aumento del nivel del mar o las tormentas, que generan presiones sobre el entorno natural (UNEP, 2007).	Las presiones son actividades humanas que resultan de los forzantes, como la urbanización, la sobreexplotación de recursos y la contaminación. Estas actividades generan estrés en los ecosistemas costeros y afectan su capacidad para sostenerse a largo plazo (OECD, 2003).	El estado se refiere a la condición actual de los ecosistemas y los recursos naturales, evaluado a través de indicadores como la calidad del aire, agua y biodiversidad. En las zonas costeras, el estado del medio ambiente refleja los impactos acumulados de las presiones humanas y naturales (Borja <i>et al.</i> , 2006).	Los impactos son los efectos de las presiones sobre la salud humana, la biodiversidad y la economía. En las costas, estos pueden incluir la erosión, la pérdida de biodiversidad y el aumento de riesgos de desastres naturales (Turner <i>et al.</i> , 1998).	Las respuestas son las políticas y acciones implementadas para mitigar los impactos y mejorar el estado ambiental. Estas respuestas incluyen leyes, programas de restauración y medidas de adaptación para lograr el desarrollo sostenible (EEA, 1999).

Resultados

Síntesis de la organización político-administrativa territorial del estado:

Políticas

Las políticas neerlandesas son proactivas y orientadas a la sostenibilidad, combinando gobernanza multinivel, participación ciudadana y adaptación al cambio climático. Entre las principales iniciativas:

- **Delta Programme (2010).** Plan nacional que garantiza seguridad hídrica y protección frente al aumento del nivel del mar. Alineado con la Waterwet, Art. 3.2. (Delta Programme, 2023).
- **National Water Plan (2009).** Visión integral de gestión del agua con estrategias sostenibles ante el cambio climático. (Dutch National Water Authority, 2022)

- **Room for the River (2007).** Programa que permite desbordamientos controlados para prevenir inundaciones y restaurar ecosistemas. (RIVM, 2020).
- **National Climate Adaptation Strategy (2016).** Directrices para infraestructura y biodiversidad sin base legal directa. (Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management, 2016).
- **Blue Point Indicators (2012).** Indicadores de efectividad en seguridad y calidad del agua. Vinculados a la Ley de Agua, Art. 4. (Van der Linde *et al.*, 2021).
- **Water Management Policy (2009).** Enfoque integrado de calidad del agua, sostenibilidad y cambio climático. (Dutch National Water Authority, 2022).



- **Integrated Coastal Zone Management (ICZM).** Estrategia para manejo costero sostenible, alineada con la Ley de Protección Ambiental. (European Commission, 2007).
- **Water Framework Directive (2000).** Directiva de la UE que establece cooperación y sostenibilidad en gestión hídrica. (European Union, 2000).
- **Flood Risk Management Strategy (2015).** Evaluación y planificación para mitigar riesgos de inundación. Vinculada al Art. 4.1 de la Waterwet. (Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management, 2015).

Las políticas de los Países Bajos demuestran un compromiso sólido con la gestión sostenible del agua y la resiliencia climática, especialmente frente a la amenaza del Mar del Norte. Con indicadores como el “Blue Point” para evaluar aspectos de seguridad hídrica, infraestructura y gobernanza, y mediante la participación ciudadana coordinada por la Rijkswaterstaat, el país integra efectivamente la gestión de riesgos de inundación y asegura un financiamiento adecuado en sus políticas públicas.

Conformación de la Normatividad

Los Países Bajos cuentan con un marco legal sólido para el manejo costero, basado en legislación nacional, directivas de la UE y tratados internacionales, lo que garantiza un enfoque integral y sostenible. Entre las normativas clave destacan:

- **Waterwet (2009).** Establece responsabilidades en protección contra inundaciones y calidad del agua. Artículo 3 define obligaciones institucionales (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2009).
- **Kustbeschermingswet (2007).** Regula la protección costera ante erosión e inundaciones. Artículo 5 establece medidas de seguridad (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2007).
- **Wet Ruimtelijke Ordening (2008).** Norma sobre uso del suelo y planificación sostenible en zonas costeras. Artículo 12 establece direc-

trices ambientales (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2008).

- **Natuurbeschermingswet (2013).** Base legal para conservar biodiversidad en zonas protegidas bajo Natura 2000. Artículo 4 regula obligaciones ecológicas (Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad Alimentaria, 2013).
- **Grondwaterwet (2009).** Regula la extracción de aguas subterráneas en zonas costeras. Artículo 8 limita la sobreexplotación (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2009).
- **Waterhuishoudingsplanwet (2005).** Promueve planificación integrada de infraestructura hídrica. Artículo 6 detalla disposiciones para zonas costeras (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2005).
- **Waterkwaliteitswet (2009).** Norma para gestionar la contaminación hídrica. Artículo 3 establece objetivos de calidad (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2009).
- **Wet op de Ruimtelijke Ordening (2010).** Refuerza planificación territorial sostenible con enfoque ambiental. Artículo 10 regula evaluaciones de impacto (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2010).

Estas leyes establecen un marco legal sólido e integral para el manejo de las zonas costeras en los Países Bajos, abordando de manera efectiva la protección contra inundaciones, garantizando la calidad del agua, promoviendo la conservación de la biodiversidad y asegurando un uso sostenible del suelo.

Competencias

En los Países Bajos, la gestión de las zonas costeras es una responsabilidad compartida entre diversas instituciones gubernamentales y organizaciones. A continuación, se detallan las principales entidades y sus competencias relacionadas con las zonas costeras:

- **Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua.** Responsable de políticas nacionales de infraestructura hídrica y protección costera



(Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, n.d.).

- **Rijkswaterstaat.** Agencia ejecutiva encargada de obras hidráulicas y defensa costera (Rijkswaterstaat, n.d.).
- **Ministerio de Defensa.** Coordina seguridad marítima y rescate a través de Kustwacht Nederland (Kustwacht Nederland, n.d.).
- **Ministerio de Justicia y Seguridad.** Supervisa el orden público en zonas costeras y aplica leyes marítimas (Ministerie van Justitie en Veiligheid, n.d.).
- **Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad Alimentaria.** Promueve la conservación de biodiversidad y el uso sostenible en áreas costeras (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, n.d.).
- **Provincias costeras (Holanda Septentrional, Meridional, Zelanda, Frisia).** Competencias en ordenamiento territorial y desarrollo regional (Vlaanderen, 2019).
- **Juntas de aguas (Waterschappen).** Gestionan inundaciones, drenaje y calidad del agua (Vereniging van Waterbouwers, n.d.).
- **Institutos científicos y universidades.** Deltares, NIOZ y TU Delft ofrecen investigación y asesoría técnica en manejo costero (Deltares, n.d.; NIOZ, n.d.; TU Delft, n.d.).

Instituciones y reparto de funciones

El manejo costero en los Países Bajos es un proceso integral y colaborativo que reúne a diversas instituciones con funciones específicas para enfrentar desafíos como la gestión sostenible, la protección ante inundaciones y la adaptación climática.

- **Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua.** Coordina políticas nacionales de gestión hídrica y protección costera, regulando infraestructuras y acciones entre niveles gubernamentales (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020).
- **Rijkswaterstaat.** Agencia ejecutiva encargada del mantenimiento de defensas costeras y pro-

yectos de restauración de ecosistemas en zonas vulnerables (Rijkswaterstaat, 2021).

- **KNMI (Instituto Nacional de Meteorología).** Proporciona monitoreo climático y pronósticos que respaldan la planificación adaptativa en el manejo costero (KNMI, 2020).
- **Comisión del Delta.** Asesora sobre seguridad hídrica y estrategias sostenibles de adaptación climática que combinan infraestructura y restauración ambiental (Delta Commissie, 2015).

Instrumentos estratégicos y operativo

- **Ley de gestión del agua (Waterwet).** Establecida en 2009, esta ley proporciona el marco legal para la gestión del agua, incluyendo la protección de las zonas costeras. Garantiza la calidad y cantidad del agua y la seguridad frente a inundaciones, esenciales en áreas vulnerables al aumento del nivel del mar (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2009).
- **Plan Nacional de Agua (Nationaal Waterplan).** Revisado cada seis años, este plan establece políticas y objetivos para la gestión del agua, abordando la calidad y protección de las costas contra inundaciones (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2021).
- **Estrategia Nacional de Adaptación (Nationaal Adaptatieplan).** Lanzada en 2016, esta estrategia prepara a las regiones para los efectos del cambio climático, mejorando la resiliencia de las zonas costeras ante el aumento del nivel del mar (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2016).
- **Ley de planificación espacial (Wet ruimtelijke ordening).** Desde 2008, regula el uso del suelo, asegurando que el desarrollo humano en zonas costeras no comprometa los ecosistemas y protegiendo contra la erosión (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2008).
- **Plan de gestión de la costa (Kustbeheerplan).** Revisado cada cinco años, este plan aborda la erosión costera y la planificación de la infraestructura, siendo clave para la adapta-



ción y mitigación ante el cambio climático en las costas (Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua, 2018).

Formación y capacitación

- **Programas de Posgrado.** Universidades neerlandesas ofrecen maestrías y doctorados en gestión costera, ecología marina y ordenamiento territorial. Destaca Wageningen por su enfoque en sostenibilidad (Wageningen University & Research, 2021). También se ofrece una Maestría en Manejo del Agua y Cambio Climático con especialización costera (Delft University of Technology, 2022).
- **Talleres y Seminarios.** Actividades organizadas por instituciones académicas y gubernamentales fomentan el intercambio entre expertos y responsables políticos (Rijkswaterstaat, 2023).
- **Cooperación Internacional.** Colaboraciones con la UE y UNESCO impulsan capacitación y proyectos conjuntos en manejo costero, fortaleciendo capacidades locales (European Commission, 2022).
- Es importante señalar que el enfoque en la formación en temas de manejo costero en los Países Bajos se centra en la integración de la teoría y la práctica, lo que permite a los estudiantes y profesionales obtener una formación en el manejo costero. Esto tiene ventajas significativas en términos de la preparación de los graduados para enfrentar los desafíos complejos en esta área crítica.

Recursos económicos financieros para el manejo costero

El manejo costero en los Países Bajos se beneficia de una variedad de recursos económicos y financieros que son esenciales para implementar proyectos y programas que promuevan el desarrollo sostenible en las zonas costeras. Estos recursos son fundamentales para enfrentar los desafíos asociados al cambio climático, la erosión costera y la conservación de los ecosistemas marinos.

- **Fondos Públicos:** El gobierno holandés asigna recursos a través de presupuestos nacionales y regionales para el manejo costero. Estos fondos son cruciales para llevar a cabo estudios, infraestructuras y programas de restauración de ecosistemas. La transparencia en la gestión de estos fondos es vital para asegurar su uso eficaz y responsable.
- **Fondos de la Unión Europea:** Los Países Bajos también acceden a fondos de la Unión Europea destinados a proyectos de medio ambiente y sostenibilidad. Por ejemplo, el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP) apoya iniciativas que promueven el desarrollo sostenible de las comunidades costeras y la conservación de los recursos marinos (Comisión Europea, 2020).
- **Iniciativas Privadas y Alianzas Público-Privadas.** La colaboración con el sector privado a través de alianzas público-privadas permite financiar proyectos de infraestructura y conservación. Estas asociaciones pueden generar recursos adicionales y fomentar la innovación en el manejo costero. Las empresas pueden contribuir no solo financieramente, sino también aportando conocimientos y tecnologías.
- **Donaciones y Subvenciones Internacionales.** Organizaciones internacionales y fundaciones también proporcionan donaciones y subvenciones para proyectos relacionados con el manejo costero. Estas contribuciones son esenciales para el financiamiento de iniciativas específicas, como programas de restauración de humedales y proyectos de adaptación al cambio climático.
- **Programas de Investigación y Desarrollo.** La investigación sobre el cambio climático y el manejo de zonas costeras recibe financiamiento a través de programas de investigación nacionales y europeos. Estos recursos son utilizados para desarrollar nuevas tecnologías y enfoques de gestión que son críticos para la resiliencia costera (Rijkswaterstaat, 2019).

En conclusión, el manejo costero en los Países Bajos depende de una variedad de recursos econó-



micos y financieros que provienen de fuentes públicas, privadas e internacionales. La transparencia y la colaboración son clave para garantizar que estos recursos se utilicen de manera efectiva en pro del desarrollo sostenible de las zonas costeras.

Conocimiento e información

Los Países Bajos han establecido sólidas bases de datos para el monitoreo continuo de los ecosistemas costeros, utilizando herramientas avanzadas como Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos de simulación para la evaluación y ajuste de políticas. Este enfoque tecnológico, apoyado por el Instituto Meteorológico de los Países Bajos (KNMI), facilita una mejor comprensión de los impactos del cambio climático en las zonas costeras (KNMI, 2023).

La experiencia acumulada por la Rijkswaterstaat, ministerios y universidades como Wageningen, Utrecht, Leiden y Groningen ha sido clave para innovar en el manejo costero, aplicando conocimientos en biotecnología e hidráulica dentro y fuera de Países Bajos (Deltares, 2020; Rijkswaterstaat, 2021).

Instituciones como Deltares, en colaboración con Rijkswaterstaat, lideran la recopilación de datos sobre dinámica costera, cambio climático y recursos hídricos mediante sistemas de alerta temprana y simulación (Deltares, 2020; Rijkswaterstaat, 2021). El Dutch Coastline Monitoring System aporta información continua sobre erosión y sedimentación, favoreciendo una gestión costera adaptativa (Ministry of Infrastructure and Water Management, 2020).

Educación para la sostenibilidad

Programas educativos en escuelas y universidades promueven la conciencia ambiental y la sostenibilidad, formando a las futuras generaciones sobre la importancia de conservar los recursos costeros (Wageningen University & Research, 2021). La educación ambiental se considera importante para fomentar una cultura de sostenibilidad.

El sistema educativo holandés incluye programas específicos sobre sostenibilidad y gestión ambiental en diversos niveles, desde la educación primaria hasta la universitaria. Universidades como Wageningen University y TU Delft ofrecen programas avanzados en ciencias ambientales, gestión del agua y sostenibilidad costera (Wageningen University, 2021; TU Delft, 2022).

Además, iniciativas como la Agenda Nacional de Educación para el Desarrollo Sostenible promueven la integración de estos temas en los currículos escolares y universitarios (Netherlands Enterprise Agency, 2021).

Participación ciudadana

En los Países Bajos, la implementación de la MIZC ha demostrado ser un enfoque eficaz para gestionar los desafíos costeros a largo plazo. La participación ciudadana, combinada con la validación jurídica, ha garantizado que las políticas implementadas sean legítimas, transparentes y respaldadas por la comunidad. Las acciones llevadas a cabo bajo el marco de la MIZC, como la construcción de infraestructuras de protección costera y la restauración de ecosistemas, han mejorado la resiliencia de las zonas costeras frente al cambio climático. El proceso cíclico de planificación, implementación y evaluación ha permitido que las políticas de manejo costero se adapten a nuevos desafíos, asegurando así una sostenibilidad a largo plazo (McKenna *et al.*, 2008).

La Ley de Participación Pública promueve la consulta ciudadana y asegura que las decisiones en torno al manejo costero sean inclusivas, reflejando preocupaciones ambientales y sociales (Government of the Netherlands, 2019).

Se fomenta la participación pública a través de consultas y talleres, involucrando a las comunidades locales en la planificación y gestión de proyectos de restauración y conservación (Dutch National Water Authority, 2022). Esta participación asegura que las voces de los ciudadanos se integren en la toma de decisiones.



La participación ciudadana es fundamental en el modelo neerlandés, donde la ciudadanía es involucrada activamente en la planificación y toma de decisiones a través de los consejos de agua.

Modelo FPEIR

Tabla 4. Análisis FPEIR aplicado a Países Bajos.

Factores	Descripción
Forzante	En los Países Bajos, los principales forzantes incluyen el cambio climático, el aumento del nivel del mar y la subsidencia del suelo. Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021), el nivel del mar está subiendo debido al calentamiento global, lo que ejerce una presión significativa sobre los sistemas costeros del país. Este fenómeno es particularmente preocupante, ya que más del 26% del territorio de los Países Bajos está bajo el nivel del mar, lo que hace que la población y las infraestructuras sean altamente vulnerables a inundaciones (Gerritsen, 2005).
Presiones	Las principales presiones incluyen la urbanización y la expansión de la infraestructura en zonas costeras, así como la extracción de recursos como el agua subterránea y la tierra para la agricultura. La necesidad de espacio para viviendas, infraestructuras portuarias y actividades industriales también ha contribuido a la degradación del ecosistema costero (De Vriend, Van Koningsveld, & Aarninkhof, 2014). El turismo masivo y las actividades recreativas en las playas y áreas protegidas, como el Mar de Wadden, aumentan la presión sobre los hábitats costeros, afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Langen <i>et al.</i> , 2015). Estas actividades ponen en riesgo tanto los ecosistemas naturales como la capacidad del país para mantener un desarrollo costero sostenible.
Estado	En los Países Bajos, el estado del litoral está marcado por su elevada vulnerabilidad a las inundaciones y la erosión costera. El gobierno neerlandés ha invertido en proyectos innovadores como el "Zandmotor" (Motor de Arena) para contrarrestar la erosión y mejorar la resiliencia costera, lo que ha ayudado a estabilizar el litoral de manera sostenible (Rijkswaterstaat, 2014). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, el aumento de la población en las zonas costeras, la presión sobre los ecosistemas marinos y los efectos del cambio climático continúan impactando negativamente la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del litoral. La agricultura en los polders también ha afectado el estado del suelo debido a la subsidencia y a la salinización del agua (Van der Meulen, 2003).
Impacto	Los principales impactos incluyen el riesgo de inundaciones y la pérdida de biodiversidad. Las inundaciones pueden causar pérdidas económicas significativas y poner en peligro la vida de millones de personas que viven en áreas costeras y bajo el nivel del mar (Zevenbergen <i>et al.</i> , 2013). Además, la pérdida de hábitats naturales debido a la expansión urbana y agrícola ha afectado negativamente a especies endémicas y migratorias, especialmente en zonas protegidas como el Mar de Wadden (Langen <i>et al.</i> , 2015). Estos impactos han generado una creciente preocupación por la capacidad de las zonas costeras neerlandesas para mantener su resiliencia ecológica y económica a largo plazo.
Respuesta	El manejo de las zonas costeras está muy avanzada gracias a iniciativas como la Estrategia del Delta, que combina el control de las aguas con la protección ambiental y el desarrollo sostenible (Wesselink <i>et al.</i> , 2015). Este enfoque ha permitido un equilibrio entre la expansión económica y la protección ambiental, basándose en principios de sostenibilidad y gestión adaptativa. Además, los Países Bajos han implementado soluciones innovadoras, como la Ingeniería Verde y el proyecto "Room for the River", que permiten la restauración natural de las llanuras de inundación y mejoran la seguridad ante crecidas y tormentas (Rijkswaterstaat, 2015). Estas respuestas han sido elogiadas a nivel internacional como ejemplos de buenas prácticas en el manejo integrado de zonas costeras. Además, los Países Bajos han implementado soluciones innovadoras, como la Ingeniería Verde y el proyecto "Room for the River", que permiten la restauración natural de las llanuras de inundación y mejoran la seguridad ante crecidas y tormentas (Rijkswaterstaat, 2015). Estas respuestas han sido elogiadas a nivel internacional como ejemplos de buenas prácticas en el manejo integrado de zonas costeras.



Análisis de resultados

El cambio climático y las actividades humanas están llevando a un deterioro creciente de los ecosistemas costeros en los Países Bajos. Este problema tiene consecuencias serias para la biodiversidad, la capacidad de las comunidades costeras para adaptarse y la defensa de las costas ante fenómenos como inundaciones. Por ello, el manejo sostenible de estas zonas marinas es fundamental para preservar estos ecosistemas valiosos y reducir los efectos negativos del cambio climático.

La introducción del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) en las políticas públicas holandesas refleja un compromiso claro con la sostenibilidad y la conservación de las zonas costeras. Para que este enfoque sea exitoso, es esencial que se desarrolle de manera continua y cuente con recursos y medidas concretas que aseguren su implementación efectiva.

Además, las leyes en los Países Bajos establecen principios generales sobre la protección del medio ambiente, pero es a través de regulaciones más específicas que se aborda el manejo de los recursos marinos y costeros. Estas leyes deben adaptarse con el tiempo para responder a las problemáticas relacionadas con la sostenibilidad y la conservación del entorno.

Las inversiones en infraestructura y recursos deben ser planificadas de manera sostenible, buscando un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente. Además, es importante que las comunidades locales participen en la toma de decisiones y se beneficien equitativamente

de las actividades económicas en sus regiones costeras.

Para abordar la falta de participación ciudadana y la sostenibilidad de los proyectos, es necesario un enfoque que incluya a las comunidades locales, fomente la educación ambiental y establezca mecanismos efectivos para la recopilación y el intercambio de información. Estos elementos son fundamentales para asegurar un manejo costero sostenible en los Países Bajos y en otros lugares del mundo.

El Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) exige una toma de decisiones inclusiva, basada en la participación ciudadana y la gobernanza democrática. Dado que las zonas costeras son espacios con múltiples usos y recursos en competencia (turismo, pesca, conservación, entre otros), es esencial que las comunidades locales, junto con otros actores clave, formen parte del proceso de toma de decisiones. La participación ciudadana garantiza que las soluciones adoptadas sean socialmente equitativas y ambientalmente sostenibles, lo que aumenta la legitimidad y la eficacia de las acciones implementadas.

Además, la validación jurídica del MIZC asegura que las políticas costeras cumplan con los marcos normativos nacionales e internacionales. En los Países Bajos, donde el cambio climático y la subida del nivel del mar plantean amenazas graves, la validación jurídica es especialmente importante para garantizar la sostenibilidad a largo plazo y para proteger tanto a las poblaciones locales como los ecosistemas costeros.

Conclusiones

El Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) en los Países Bajos ha demostrado ser un enfoque fundamental para enfrentar los desafíos actuales y futuros relacionados con el cambio climático, la protección de las comunidades costeras y la sostenibilidad de los recursos marinos. El éxito del MIZC

en este país radica en la implementación de políticas a largo plazo, como el Plan Delta y el programa "Room for the River", que a su vez permitirán una adaptación eficaz a las amenazas del aumento del nivel del mar y las inundaciones.



La colaboración entre diferentes niveles de gobierno, instituciones científicas, el sector privado y la sociedad civil ha sido un pilar importante para el manejo costero en los Países Bajos. Este modelo de gobernanza ha logrado una coordinación efectiva que maximiza los recursos disponibles y asegura que las políticas públicas respondan a las necesidades tanto de la protección ambiental como del desarrollo económico sostenible.

El modelo FPEIR (Fuerzas impulsoras, Presiones, Estado, Impactos y Respuesta) ha sido fundamental en el manejo costero de los Países Bajos, ya que permite identificar cómo las fuerzas impulsoras, como el cambio climático, generan presiones sobre los recursos marinos y costeros, evaluando sus impactos. A través de este análisis, se desarrollan políticas adaptativas que responden de manera efectiva a los desafíos ambientales. Su aplicación ha

facilitado soluciones que combinan infraestructura e innovación, garantizando la resiliencia costera a largo plazo.

La combinación de soluciones basadas en la naturaleza, como la restauración de dunas y la creación de humedales, con infraestructuras robustas de ingeniería, refuerza la resiliencia del país frente a los impactos climáticos. Asimismo, la inversión en investigación y educación ha permitido que las futuras generaciones, así como los profesionales actuales, se formen en torno a los principios de la sostenibilidad y la conservación costera. La experiencia neerlandesa en el manejo costero sirve de ejemplo para otras naciones que buscan implementar enfoques similares, demostrando que la coordinación, la innovación y la cooperación son claves para garantizar la sostenibilidad de las zonas costeras.

Referencias

- Arens, S. M., Baas, A. C. W., Van Boxel, J. H., & Kalkman, C. (2001). Influence of reed stem density on foredune development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1161-1176. <https://doi.org/10.1002/esp.257>.
- Barragán Muñoz, J. M. (Coord.). (2012). Síntesis diagnóstica del Manejo Integrado en Iberoamérica.
- Borja, Á., Franco, J., & Pérez, V. (2006). Assessing the quality of coastal waters using the European Water Framework Directive: The case of the Basque Country. *Marine Pollution Bulletin*, 53(3-4), 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.06.006>
- Canon van Nederland. (s.f.). De Watersnoodramp 1953. Recuperado de: <https://www.canonvannederland.nl>
- CE. (2009). Country Profile Netherlands. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/water-management/country-profile-netherlands>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2024). Gross Domestic Product (GDP) and population data. Retrieved from <https://www.cbs.nl/en-gb>.
- Cicin-Sain, B., & Knecht, R. W. (1998). Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices. Island Press.
- Cicin-Sain, B., *et al.* (1999). Framework for Coastal Management. *Coastal Management*, 27(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/089207599263935>
- Comisión Europea. (2007). The European Community's Integrated Coastal Zone Management (ICZM) Strategy. Retrieved from <https://ec.europa.eu/environment/iczm/home.htm>
- De Vriend, H. J., Van Koningsveld, M., & Aarninkhof, S. G. J. (2014). Building with Nature: The New Dutch Approach to the Management of Coasts and Rivers. The Nature Conservancy.
- Delft University of Technology. (2022). Master's in Water Management and Climate Change. Retrieved from <https://www.tudelft.nl/en/>
- Delta Commissie. (2015). Delta Programme: Working on the Future. Retrieved from <https://www.deltacommissie.com/>
- Delta Programme. (2023). Delta Programme: 2023 Update. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/delta-programme>
- Deltares. (n.d.). Deltares - Research and knowledge for the delta. Retrieved from <https://www.deltares.nl/en/>
- Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management. (2015). Flood Risk Management Strategy. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/flood-risk-management>
- Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management. (2016). National Climate Adaptation Strategy. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/climate-change/adaptation>
- Dutch National Water Authority. (2022). Water Management Policy. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/water-management/water-management-policy>
- Earth Magazine. (2018). Dutch Masters: The Netherlands Exports Flood-Control Expertise. Recuperado de: <https://>



- www.earthmagazine.org/article/dutch-masters-netherlands-exports-flood-control-expertise/.
- El Periódico de la Energía. (2021). Las inundaciones en Alemania y Países Bajos, causadas por el cambio climático. Recuperado de <https://elperiodicodelaenergia.com/las-inundaciones-en-alemania-y-paises-bajos-causadas-por-el-cambio-climatico/>.
- Euronews. (2023). Fuertes lluvias y vientos causan inundaciones en Europa. Recuperado de: <https://es.euronews.com/2023/12/26/fuertes-lluvias-y-vientos-causan-inundaciones-en-europa>.
- European Commission. (2020). European Maritime and Fisheries Fund (EMFF). Retrieved from https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/emff_en
- European Union. (2000). Water Framework Directive. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0060>
- Gallego Jiménez, A. (2020). Saltwater Intrusion and Its Impact on Agriculture in the Netherlands. *Agriculture*, 10(2), 36. <https://doi.org/10.3390/agriculture10020036>
- Gerritsen, H. (2005). Ecosystem Management in the Wadden Sea: A Case Study. In A. R. S. Baird, T. H. M. W. Dijkstra, & J. M. C. van de Koppel (Eds.), *The Wadden Sea Ecosystem: A Dynamic and Diverse System* (pp. 12-25).
- Gerritsen, H. (2005). What happened in 1953? The Big Flood in the Netherlands in retrospect. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363(1831), 1271-1291. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1568>.
- Giardino, J. R., et al. (2009). Coastal erosion: Human and Natural factors. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(2), 197-211. <https://doi.org/10.1002/esp.1718>
- Klein, R. J. T., et al. (2014). Integrating climate change adaptation and disaster risk reduction: A systematic literature review. *Environmental Science & Policy*, 36, 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.07.002>
- Klein, R. J. T., et al. (2021). Climate Change Adaptation: A Framework for Coastal Communities. *Coastal Management*, 49(3), 209-227. <https://doi.org/10.1080/08920753.2021.1909353>
- Klijn, F., Asselman, N., & Wagenaar, D. (2018). Room for rivers: Risk reduction by enhancing the flood conveyance capacity of the Netherlands' large rivers. *Geosciences*, 8(6), 224. <https://doi.org/10.3390/geosciences8060224>
- Kristensen, P. (2004). The DPSIR Framework. In M. J. M. De Vries & R. H. G. De Graaf (Eds.), *A Framework for Evaluating Environmental Indicators* (pp. 35-39).
- Kustwacht Nederland. (n.d.). Dutch Coastguard - Overview and Mission. Retrieved from <https://www.kustwacht.nl/>
- Langen, A., et al. (2015). The impact of tourism on coastal ecosystems: The Wadden Sea case. *Ocean & Coastal Management*, 104, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.09.013>.
- Ligtvoet, W., et al. (2013). Impact of Climate Change on Flooding in the Netherlands: A Case Study. *Journal of Coastal Research*, 29(6), 1271-1279. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00025.1>
- McKenna, J., Cooper, J. A. G., & O'Hagan, A. M. (2008). Integrated coastal zone management: A review of the process and its applications. *Coastal Management*, 36(4), 456-474. <https://doi.org/10.1080/08920750802435163>
- Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad Alimentaria. (2013). Nature Protection Act. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/nature-protection>
- Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. (2005). Water Management Infrastructure Plan. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/water-management/water-management-infrastructure-plan>
- Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. (2007). Coastal Protection Act. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/coastal-management>
- Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. (2008). Spatial Planning Act. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/spatial-planning>
- Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. (2009). Water Management Act. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/water-management/water-law>
- Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. (2009). Water Quality Act (Waterkwaliteitswet). Retrieved from <https://www.government.nl/topics/water-management/water-quality-law>
- Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. (2010). Territorial Order Act. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/spatial-planning>
- Netherlands Enterprise Agency. (2021). National Agenda for Education for Sustainable Development. Retrieved from <https://www.government.nl/topics/education-sustainable-development>
- NIOZ. (n.d.). Royal Netherlands Institute for Sea Research - Research and Education. Retrieved from <https://www.nioz.nl/en>
- OCHA Services. (2024). Location of the Netherlands. Retrieved from <https://www.unocha.org/countries/netherlands>
- OECD. (2003). Environmental Indicators for Agriculture. Retrieved from <https://www.oecd.org/tad/sustainable-agriculture/2080173.pdf>
- Peters, A., et al. (2021). Ecosystem impacts of coastal interventions: Insights from the Netherlands. *Marine Ecology Progress Series*, 681, 183-195. <https://doi.org/10.3354/meps13940>
- Rijkswaterstaat. (2014). Building with Nature: Sustainable protection of the Dutch coast. Recuperado de <https://www.rijkswaterstaat.nl/english/water-systems/protecting-the-netherlands-against-flooding/building-with-nature>.
- Rijkswaterstaat. (2014). Innovative Water Management Strategies: Green Engineering. Retrieved from <https://www.rijkswaterstaat.nl/en>
- Rijkswaterstaat. (2015). Room for the River: Innovative Flood Management. Retrieved from <https://www.rijkswaterstaat.nl/en/room-for-the-river>



- Rijkswaterstaat. (2019). Climate Change and Coastal Management in the Netherlands. Retrieved from <https://www.rijkswaterstaat.nl/en/climate-change>
- Rijkswaterstaat. (2021). Deltares and Rijkswaterstaat: Collaboration for Coastal Management. Retrieved from <https://www.deltares.nl/en/>
- Rijkswaterstaat. (2022). National Parks in the Netherlands. Recuperado de: <https://www.rijkswaterstaat.nl>
- RIVM. (2020). Room for the River: Overview and Implementation. Retrieved from <https://www.rivm.nl/en/documenten/room-for-the-river-overview-and-implementation>
- Smit, H., et al. (2020). Biodiversity in Dutch Coastal Ecosystems: Current Status and Future Prospects. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9), 674. <https://doi.org/10.3390/jmse8090674>
- Sorensen, J. (2002). Coastal Zone Management: The U.S. Experience. *Coastal Management*, 30(2), 113-135. <https://doi.org/10.1080/089207502317074195>
- Steele, K., et al. (2017). Vulnerability of Coastal Communities: A Study on the Netherlands. *Environmental Science & Policy*, 69, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.008>
- Tu Delft. (n.d.). Delft University of Technology - Education in Coastal Management. Retrieved from <https://www.tudelft.nl/en/>
- UNEP. (2007). An Introduction to the DPSIR Framework. Retrieved from <https://www.unep.org/resources/report/introduction-dpsir-framework>
- UNESCO. (2014). Wadden Sea. Recuperado de: <https://whc.unesco.org/en/list/1314/>
- van Alphen, S. (2020). Room for the river: Innovation, or tradition? The case of the Noordwaard. En C. Hein (Ed.), *Adaptive strategies for water heritage: Past, present and future* (pp. 308-323). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00268-8_16
- Van der Linde, A., et al. (2021). Blue Point Indicators: Evaluating Water Security Policies in the Netherlands. *Water*, 13(10), 1381. <https://doi.org/10.3390/w13101381>
- Van der Meulen, S. (2003). Subsidence and Its Impact on Coastal Management in the Netherlands. *Journal of Coastal Research*, 19(3), 602-610. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2003\)19\[602:SAIICO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2003)19[602:SAIICO]2.0.CO;2)
- Van Dijk, A. J., Kuper, J. P., & Foppen, R. P. B. (2015). Bird migration and biodiversity in the Netherlands. *Journal of Coastal Ecology*, 12(3), 234-246.
- Van Koningsveld, M., & Mulder, J. P. M. (2003). Coastal Engineering in the Netherlands: New Developments. In *Proceedings of the Coastal Engineering Conference* (pp. 351-362).
- Van Koningsveld, M., Mulder, J. P. M., Stive, M. J. F., Van der Valk, L., & Van der Weck, A. W. (2008). Living with sea-level rise and climate change: A case study of the Netherlands. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 367-379. <https://doi.org/10.2112/07A-0010.1>
- Verweij, S., Busscher, T., & van den Brink, M. (2021). Effective policy instrument mixes for implementing integrated flood risk management: An analysis of the "Room for the River" program. *Environmental Science & Policy*, 116, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.003> research.rug.nl
- Wadden Sea World (2014). Map for Wadden Sea Area. Recuperado de <https://www.waddensea-worldheritage.org/resource-type/map>.
- Wadden Sea. (2023). Wadden Sea Islands and Regions. Retrieved from <https://www.waddensea-worldheritage.org/>
- Waldman, J. R., et al. (2019). Ecological and Economic Value of Dutch Coastal Ecosystems: A Review. *Environmental Science & Policy*, 95, 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.018>
- World Bank. (2021). The role of infrastructure in economic development: A case study of the Netherlands. Recuperado de: <https://www.worldbank.org>
- Zevenbergen, C., Rijke, J., van Herk, S., & Bloemen, P. (2015). Room for the River: A stepping stone in adaptive delta management. *International Journal of Water Governance*, 3(3), 121-140. <https://doi.org/10.7564/14-IJWG63>

Paredes Puc, W.E., Chablé Mis, N.J., Ruíz Mariscal, K.L., Cabrera Tamayo, A.L., Cervera López G.R., , Rivera-Arriaga, E., Peña-Puch, A.C. 2025. Importancia de las mariposas como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, un estudio de revisión. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(2): 45-62. doi 10.26359/52462.0708



Importancia de las mariposas como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, un estudio de revisión

Importance of butterflies as potential bioindicators of environmental quality in Mexico

*Wendy E. Paredes Puc¹, Nadia J. Chablé Mis¹, Karla L. Ruíz Mariscal¹,
Andrea L. Cabrera Tamayo¹, Galilea del R. Cervera López¹,
Evelia Rivera-Arriaga² y Angelina del Carmen Peña-Puch²*

¹ Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche

² Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche

** autor de correspondencia: al069584@uacam.mx*

doi 10.26359/52462.0708

Recibido 07/julio/2025. Aceptado 09/diciembre/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

Este artículo analiza el papel fundamental de las mariposas (orden Lepidoptera) como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, país que alberga una gran diversidad de estos lepidópteros, con más de 1,900 especies documentadas. El estudio tiene como objetivo principal analizar los factores que hacen de las mariposas indicadores ecológicos, evaluando su sensibilidad frente a perturbaciones ambientales como la fragmentación de hábitats, la contaminación y los efectos del cambio climático. La metodología consistió en una revisión bibliográfica de 59 investigaciones científicas, seleccionadas mediante búsquedas en bases de datos de carácter académico. Los resultados demuestran que estos insectos son particularmente esenciales para el monitoreo ambiental debido a su estrecha asociación con la vegetación, su alta especificidad de hábitat y su rápida respuesta ecológica. Estudios de caso en áreas urbanas y naturales evidencian cómo especies como *Danaus plexippus* (mariposa monarca) y *Papilio esperanza* (mariposa cometa oaxaqueña) reflejan cambios en la calidad ambiental. El artículo concluye que, a pesar de su gran potencial como herramientas de diagnóstico ecológico, persisten desafíos importantes para su implementación sistemática, incluyendo la falta de protocolos estandarizados de monitoreo y la escasa información en ciertos ecosistemas. Se destaca la necesidad de integrar a las mariposas en estudios experimentales y de monitoreo ambiental, políticas públicas de conservación y evaluación ambiental, así como de promover programas para ampliar la recolección de datos para aprovechar su capacidad como bioindicadores en estrategias de conservación de la biodiversidad mexicana.

Palabras clave: México, biodiversidad, Lepidoptera, bioindicadores.

Abstract

This article analyzes the fundamental role of butterflies (order Lepidoptera) as potential bioindicators of environmental quality in Mexico, a country that harbors a great diversity of these lepidopterans, with more than 1,900 documented species. The study's main objective is to analyze the factors that make butterflies ecological indicators, evaluating their sensitivity to environmental disturbances such as habitat fragmentation, pollution, and the effects of climate change. The methodology consisted of a literature review of 59 scientific studies, selected through searches in academic databases. The results demonstrate that these insects are particularly essential for environmental monitoring due to their close association with vegetation, their high habitat specificity, and their rapid ecological response. Case studies in urban and natural areas show how species such as *Danaus plexippus* (monarch butterfly) and *Papilio esperanza* (Oaxacan comet butterfly) reflect changes in environmental quality. The article concludes that, despite their great potential as ecological diagnostic tools, significant challenges remain for their systematic implementation, including the lack of standardized monitoring protocols and limited information in certain ecosystems. It highlights the need to integrate butterflies into experimental and environmental monitoring studies, public conservation policies, and environmental assessments, as well as to promote programs to expand data collection and leverage their capacity as bioindicators in Mexican biodiversity conservation strategies.

Keywords: Mexico, biodiversity, Butterflies, Lepidoptera, bioindicators.



Introducción

El reconocimiento de las mariposas como organismos sensibles a las condiciones ambientales no es un descubrimiento reciente, sino el resultado de una progresión histórica en el estudio de su ecología, comportamiento y distribución (Stefanescu, 2018). La investigación sobre lepidópteros ha cambiado, antes se centraba en su clasificación taxonómica, patrones de distribución geográfica y estética naturalista, sin considerar su potencial como bioindicadores ecológicos (Stefanescu, 2018). No fue sino hasta finales del siglo XX e inicios del XXI que se comenzó a entender su importancia como bioindicadores, especialmente en regiones con alta biodiversidad como México, donde diversos estudios empezaron a asociar la diversidad de mariposas con la calidad de los ecosistemas (Orta *et al.*, 2022; Meléndez Jaramillo, 2020).

Inicialmente, los estudios enfocados en la distribución y diversidad de mariposas no consideraban explícitamente su papel como bioindicadores. Sin embargo, investigaciones como la de Barranco (2016), llevada a cabo en el parque estatal Flor del Bosque en Puebla, México, fueron pioneras en identificar cómo la riqueza de especies y su distribución estaban influenciadas por variables ambientales como la altitud, la cobertura vegetal y la estacionalidad. Esta investigación permitió sentar las bases para considerar a las mariposas no solo como elementos decorativos del paisaje, sino como reflejos biológicos de las condiciones ecológicas del hábitat.

En el contexto global, los polinizadores como bioindicadores de funcionamiento ecosistémico han llamado la atención, aunque las abejas han sido el grupo más estudiado con este fin, las mariposas también se incluyen en esta categoría debido a su función polinizadora y a su sensibilidad ante factores como la temperatura, la humedad, la fragmentación del hábitat y el cambio en el uso de suelo (Abrol, 2012). Este enfoque ecológico permite vincular la presencia o ausencia de mariposas con la salud general del ecosistema, haciendo de estos

insectos un recurso valioso para monitorear impactos ambientales de origen natural o antropogénico (Meléndez - Jaramillo, 2020).

A pesar de su potencial, el uso de mariposas como bioindicadores ha estado sujeto a debate. En la Península Ibérica, las comunidades de mariposas responden de forma clara a variaciones espaciales del clima, pero no necesariamente a los cambios temporales, este hallazgo pone en discusión la validez de utilizar series temporales cortas para evaluar tendencias ecológicas, ya que podría haber una desconexión entre el comportamiento esperado y el real (Mingarro *et al.*, 2021). Aun así, este tipo de estudios han permitido afinar los criterios para su uso, estableciendo que las mariposas son más efectivas como bioindicadores espaciales que como indicadores de cambio a largo plazo.

En el caso de México, el valor como bioindicador de las mariposas ha ganado fuerza en la última década gracias a estudios en distintas regiones y contextos ecológicos. Meléndez Jaramillo (2020), por ejemplo, realizó una investigación en el área metropolitana de Monterrey en la que documentó cómo la diversidad de mariposas disminuye en zonas urbanas en comparación con áreas menos intervenidas. Esta investigación evidenció que la composición de especies puede servir como una herramienta para evaluar los niveles de perturbación ambiental en zonas urbanas, algo crucial en un país que enfrenta procesos acelerados de urbanización.

Además, instituciones nacionales han promovido esta línea de investigación. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2022) ha difundido información sobre el uso de mariposas diurnas como indicadoras de ambientes conservados, especialmente en regiones tropicales. El enfoque institucional ha servido para respaldar iniciativas de monitoreo ecológico y conservación de hábitats, vinculando la presencia de mariposas con la salud del ecosistema y la sostenibilidad del uso de los recursos naturales (CONANP, 2019).



Existe un avance notable en la comprensión del papel de las mariposas como bioindicadores, aún hay desafíos importantes para consolidar su uso en programas oficiales de monitoreo y conservación (Orta *et al.*, 2022). La falta de protocolos estandarizados, el escaso financiamiento a largo plazo y la necesidad de contar con personal capacitado son factores que limitan su aplicación práctica. Asimismo, González-Valdivia *et al.* (2011) proponen que las mariposas, cuando se usan en conjunto con otros grupos taxonómicos, ofrecen una visión integral de la biodiversidad, permitiendo una evaluación más robusta del estado de los ecosistemas.

Pozo *et al.* (2014) subrayan que las mariposas pueden reflejar tanto eventos ecológicos actuales como transformaciones históricas en el uso del territorio, dada su estrecha relación con la vegetación nativa y su alta especificidad de hábitat. Esta característica las convierte en organismos clave para estudios ecológicos retrospectivos y prospectivos, útiles tanto para comprender el pasado ambiental de un territorio como para proyectar escenarios futuros en procesos de restauración ecológica.

De acuerdo con la revisión bibliográfica efectuada, resalta lo importante que son las mariposas como bioindicadores, dado a su perceptibilidad para la evaluación de la calidad ambiental en México. Su estrecha relación con la vegetación, su especificidad de hábitat y su rápida respuesta a perturbaciones como la fragmentación, contaminación y cambio climático las posicionan como herramientas fundamentales para el monitoreo ecológico (Pozo *et al.*, 2014; Orta *et al.*, 2022). Estudios como el de Barranco (2016) en Puebla y Meléndez Jaramillo (2020) en Monterrey demuestran que la riqueza y composición de especies reflejan gradientes de urbanización y alteración del hábitat, respaldando la funcionalidad en ambientes con actividades antropizadas.

Aunque las mariposas responden claramente a variaciones espaciales del clima, su uso como indicadores de tendencias temporales requiere series de datos más largas y protocolos más estandarizados (Mingarro *et al.*, 2021). Esto coincide con que la

falta de sistematización en el monitoreo limita la comparabilidad con otros previos estudios, principalmente en ecosistemas áridos y urbanos, donde la escasa información es notoria (González-Valdivia *et al.*, 2011).

Además, su nicho ecológico que desempeñan como polinizadores, amplía su relevancia más allá de la evaluación ambiental, vinculándolas con la seguridad alimentaria y la salud de los ecosistemas (Abrol, 2012). México cuenta con iniciativas ejemplares, como la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca ubicado en Michoacán, pero sólo el 15 % de las áreas protegidas incluyen acciones específicas para lepidópteros (CONABIO, 2023), lo que refleja el poco interés en la particular capacidad de estas especies y las posibles aplicaciones que podrían establecerse.

La inclusión de mariposas en estrategias multiespecíficas, como propone Orta *et al.* (2022), podría ofrecer una visión más integral de la biodiversidad. Sin embargo, esto requiere superar limitaciones como la falta de personas especialistas en el tema y el financiamiento, así como promover la ciencia ciudadana para ampliar la recolección de datos, tal como lo ilustran plataformas como Naturalista (CONABIO, 2023).

Por otra parte, tras la exhaustiva revisión de artículos se puede constatar que muchas investigaciones se centran en mariposas diurnas en ecosistemas bien estudiados, dejando un vacío de conocimiento sobre las mariposas nocturnas o de especies de regiones tropicales. Así mismo, se necesita de más investigación en ecosistemas áridos y semiáridos donde la diversidad de mariposas es menos estudiada.

El deterioro ambiental global ha impulsado la búsqueda de herramientas eficaces para evaluar el estado de los ecosistemas y orientar su manejo sustentable (Cortés-Gómez *et al.*, 2015). En este contexto, los bioindicadores se han consolidado como instrumentos clave, al reflejar cambios en la calidad ambiental mediante la presencia, abundancia o comportamiento de ciertos organismos. Entre ellos, las mariposas (Lepidoptera) destacan por su



sensibilidad ecológica, diversidad y fácil observación (Pozo *et al.*, 2014).

La estrecha relación de las mariposas con la vegetación las hace altamente susceptibles a alteraciones del hábitat, como la fragmentación, contaminación o el cambio climático. La riqueza y composición de sus comunidades varían con la vegetación, altitud y otros factores, lo que permite inferir tanto perturbaciones actuales como condiciones históricas (Pozo *et al.*, 2014; Orta *et al.*, 2022). Esta utilidad ha sido demostrada en estudios realizados en Michoacán, la selva Lacandona y zonas áridas del norte del país (Vázquez *et al.*, 2019; Llorente-Bousquets *et al.*, 2008; Luna *et al.*, 2026).

México, uno de los países más diversos en mariposas, ha empleado estas especies como indicadores ambientales y ecológicos. Por ejemplo, en Monterrey se realizó un estudio, comparando la variación en riqueza, abundancia y diversidad de especies de mariposas a lo largo de un gradiente de contaminación atmosférica durante las diferentes estaciones del año en la Zona Metropolitana de Monterrey, México (Meléndez Jaramillo, 2020). Por otra parte, en Tenosique, Tabasco, México se evaluó si la coloración de las Nymphalidae frugívoras es un indicador de las unidades del paisaje, dicho resultado fue que la estructura de la vegetación afectó la abun-

dancia y composición, pero no la riqueza de mariposas (González-Valdivia *et al.*, 2016). En la región central del estado de Puebla se realizó un estudio de las especies de lepidópteros registrados en la región, los resultados mostraron que la región puede ser considerada un área ideal para encontrar refugio, alimento, áreas de reproducción y conservación de estos organismos, a pesar de la fragmentación de hábitats y de la urbanización (Ramírez-Ordoñez *et al.*, 2023).

Las mariposas son bioindicadores eficaces por su alta especificidad ecológica, capacidad de dispersión y rápida respuesta a perturbaciones ambientales, lo que permite usarlas como señales de alerta ante la degradación de ecosistemas. Además, su visibilidad y atractivo facilitan su integración en programas de ciencia ciudadana y educación ambiental (Orta *et al.*, 2022).

No obstante, su aplicación en políticas públicas y conservación en México enfrenta retos como la falta de datos sistemáticos, la ausencia de protocolos estandarizados y la limitada incorporación en procesos de planificación ambiental. Por ello, es fundamental fortalecer el conocimiento sobre las especies indicadoras, sus condiciones de uso confiable y su integración en marcos de gestión ambiental más amplios.

Diversidad de mariposas en México

En México, la discusión sobre biodiversidad suele centrarse en plantas y vertebrados, mientras que los invertebrados, como los artrópodos, reciben menos atención, a pesar de su extraordinaria abundancia y diversidad (75 % de las especies descritas a nivel mundial) y su ocupación de múltiples hábitats (Llorente y Ocegueda, 2008).

Los lepidópteros existen desde hace más de 110 millones de años, con 157 424 especies descritas en 45 superfamilias. Su éxito evolutivo se atribuye a adaptaciones miméticas, defensas químicas y conductuales (Badger y Kenney, 2006). Dentro de este grupo, las mariposas diurnas (superfamilia Pa-

pilionoidea) comprenden 18 768 especies globales, de las cuales más de 1 900 se encuentran en México, representando más del 10 % de la diversidad mundial.

Las síntesis de Heppner (1991, 1998, 2002) ofrecen referencias útiles para comparar la diversidad lepidopterológica entre regiones biogeográficas (tabla 1).

En cifras resumidas, se estima que México contiene 23 750 especies de Lepidoptera, con cerca de 14 500 descritas y documentadas. La cifra real y la estimada se acercan al 10 % de representación en México (Llorente-Bousquets *et al.*, 2013).

**Tabla 1.** Riqueza mundial de las regiones Neártica y Neotropical, y de México con estimados.Fuente: Orta *et al.* (2022).

Superfamilia	Región Neártica	Región Neotropical	¹ México conocido	² México estimado	*Total mundial
Micropteroidea	2	2	0	1	130
Heterobathmioidea	---	2	0	1	2
Eriocranioidea	16	---	0	---	31
Neopseustoidea	---	3	0	---	9
Hepialoidea	21	133	15	20	463
Nepticuloidea	149	37	4	62	949
Palaephatoidea	---	28	1	10	31
Incurvarioidea	88	41	16	35	527
Tineoidea	585	720	198	700	5 504
Gelechioidea	1468	2 872	391	2 000	16 616
Copromorphoidea	28	46	5	50	546
Yponomeutoidea	212	271	35	170	1841
Immoidea	---	36	2	5	246
Pyraloidea	1414	3 804	1375	3 000	16 654
Pterophoroidea	147	187	43	120	1 031
Sesioidea	168	378	175	260	1 700
Zygaenoidea	43	407	127	160	1 524
Cossoidea	99	511	154	195	1 978
Castnioidea	---	135	14	18	167
Tortricoidea	1215	1 275	495	1 200	6 683
Uranoidea	10	271	30	60	763
Geometroidea	1417	6473	2508	3 000	21 212
Papilionoidea	765	7927	1825	2 000	19 238
Drepanoidea	21	5	2	5	1 016
Bombycoidea	114	2 095	341	450	4 359
Sphingoidea	125	312	202	210	1 078
Noctuoidea	3425	16 820	6550	10 000	42 131
Total descritas y estimado para México	11 532	44 791	14 507	23 742	124 429

¹En lo general se sigue a Heppner (2002), aunque las cifras de México están levemente modificadas en algunas superfamilias. Los estimados consideran hábitat, distribución mundial-regional, estado de conocimiento del grupo, y generalmente sólo de 10 a 12% de la representación de la riqueza mundial.

²Por los autores, a partir de Heppner (2002).

*En este total no se consideran algunos grupos ausentes en las regiones Neártica y Neotropical. Si se considerase el total mundial sería 146 565 para el año 1990. Para el año 2007 (Apéndice) se referían 157 424 especies (Nieukerken *et al.*, 2011). Casi 11 000 spp. 17 años después.



Impacto del cambio climático en las mariposas

El cambio climático está impactando profundamente la biodiversidad global, modificando el comportamiento de numerosos animales, incluidas las mariposas (Stefanescu, 2018). Estas destacan como sensibles bioindicadores, ya que responden rápida y precisamente a variaciones climáticas (Pozo, 2006). Uno de los principales efectos se observa en su fenología, con alteraciones en el ciclo de vida que afectan la abundancia y distribución de especies (Stefanescu, 2018). El aumento de temperatura ha adelantado su aparición primaveral, provocando desincronización con las plantas hospederas y comprometiendo su supervivencia (Barranco, 20216). Dado que son poiquiloterms, su temperatura corporal depende del ambiente, y requieren entre 30–40 °C para volar eficazmente (Stefanescu, 2018). Además, fenómenos como sequías o inundaciones afectan sus poblaciones, destacando la importancia del clima local en su adaptación (Mingarro *et al.*, 2021).

El propósito de este artículo es identificar los factores que hacen a las mariposas útiles como bioindicadores de la calidad ambiental en México, las condiciones bajo las cuales se emplean con mayor eficacia y su relevancia en estudios de monitoreo ecológico a nivel nacional. Para ello, se analiza su valor ecológico, explorando cómo su presencia y comportamiento pueden reflejar el estado ambiental de diversos ecosistemas. A partir de una revisión de literatura científica, se abordan las ventajas y limitaciones de su uso, los criterios que las definen como bioindicadores y los casos documentados en el país que ilustran su aplicación. Con ello, se busca contribuir al entendimiento de su papel como herramientas de diagnóstico ecológico y fomentar su inclusión en estrategias de conservación y monitoreo ambiental en el contexto mexicano.

Metodología

La metodología para la revisión bibliográfica se tomó de autores como Gómez-Luna *et al.* (2014) y Hernández-Muñoz *et al.* (2022), los cuales proponen los siguientes pasos: 1) identificación del tema de investigación, 2) búsqueda de información, 3) selección y evaluación de información, 4) análisis y síntesis de la información y 5) presentación de los resultados.

La búsqueda de información se llevó a cabo utilizando plataformas de búsqueda como Google Scholar, Redalyc y SiciElo, la búsqueda se realizó colocando en dichos sitios un conjunto de enunciados con palabras claves como “bioindicators”, “ma-

riposas”, “Papilionoidea”, “México”. Se revisaron 59 sitios que contenían documentos con información relevante del tema, del total 4 corresponden a tesis, 38 a artículos científicos, 5 a documentos oficiales, 7 a páginas de gobierno y a 4 libros (figura 1).

Para clasificar la información recopilada se identificaron los artículos en cinco categorías distintas: diversidad, servicios ecosistémicos, indicadores, cambio climático y conservación, de acuerdo con la temática que abordan. Esto con la finalidad de definir los subtemas a desarrollar considerando su frecuencia (tabla 2).

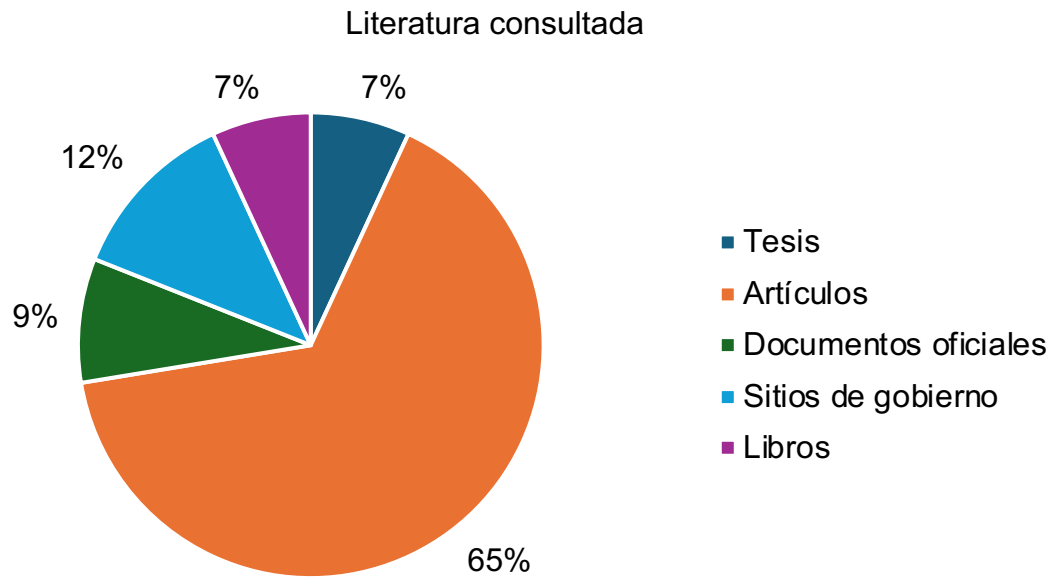


Figura 1. Literatura encontrada por categoría (Fuente: elaboración propia).

Tabla 1. Riqueza mundial de las regiones Neártica y Neotropical, y de México con estimados.

Fuente: Orta *et al.* (2022).

Tema	No. de referencias
Importancia ecológica de las mariposas y sus servicios ecosistémicos	6
Mariposas como bioindicadores	12
Características para su empleo con mayor eficacia	10
Relevancia en estudios de monitoreo ecológico a nivel nacional	8
Estrategias de conservación y monitoreo ambiental	15
Monitoreo de mariposas como herramienta de conservación	8

Resultados y discusión

Importancia ecológica y servicios ecosistémicos

Las mariposas en México cumplen un papel esencial en los ecosistemas al proveer diversos servicios ecosistémicos y actuar como posibles bioindicadores sensibles al cambio climático, lo que las convierte en herramientas efectivas para monitorear la salud ambiental (Barranco, 2016).

Destacan como polinizadoras fundamentales para la reproducción vegetal, incluyendo cultivos agrícolas, lo que incide directamente en la producción de alimentos (Abrol, 2012). Además, integran la cadena trófica como fuente alimenticia para aves, reptiles e insectos depredadores, contribuyendo al equilibrio ecológico. En la tabla 3 se detallan más de los servicios ecosistémicos que proveen.

**Tabla 3.** Servicios ecosistémicos de las mariposas en México.

(Fuente: Waltz, A. & Covington, W. 2004; Pozo et al., 2014; Abrol, 2012).

Servicio ecosistémico	Importancia	Especies indicadoras	Indicador de calidad ambiental
Polinización	Reproducción de plantas silvestres y cultivadas. Asegura la biodiversidad vegetal y la producción de alimento	<i>Battus philenor</i> (Mariposa del Pipevine), <i>Agraulis vanillae</i> (Mariposa del algodoncillo), varias especies de <i>Heliconius</i> (Mariposas Heliconias)	Abundancia y diversidad de especies polinizadoras. Presencia de especies especialistas en plantas específicas. Alta diversidad indica un ecosistema saludable y funcional.
Control biológico	Algunas larvas se alimentan de plantas invasoras o plagas agrícolas regulando sus poblaciones.	<i>Danaus plexippus</i> (Mariposa Monarca) (larvas se alimentan de algodoncillo), ciertas especies de <i>Lycaenidae</i> (muchas son mirmecófilas y controlan plagas en hormigueros).	Presencia de especies con control de plagas, balance entre especies herbívoras y sus plantas hospederas. Desequilibrio indica posible problema ecológico
Fuente de alimento	Mariposas adultas y sus larvas son fuente de alimento de aves, reptiles, anfibios e insectos, lo que estabiliza la cadena trófica.	<i>Papilio thoas</i> (Mariposa Cometa), diversas especies de <i>Nymphalidae</i> (muchas son presa de aves).	Abundancia y diversidad de mariposas; presencia de depredadores y parasitoides especializados en mariposas. Baja diversidad puede indicar problemas en la cadena trófica.
Indicadores de hábitat	La presencia o ausencia de ciertas especies indica la calidad del hábitat, incluyendo la presencia de plantas hospederas y la ausencia de contaminantes.	<i>Caligo memnon</i> (Mariposa búho), <i>Morpho peleides</i> (Mariposa Morpho azul), especies de <i>Riodinidae</i> (muchas tienen requerimientos de hábitat muy específicos).	Presencia de especies especialistas en hábitats específicos, ausencia de especies sensibles a la contaminación o alteración del hábitat. Ausencia de especies indica degradación ambiental
Dispersión de semillas	Algunas especies contribuyen a la dispersión de semillas, ayudando a la regeneración y expansión de la vegetación.	Varias especies de <i>Nymphalidae</i> y <i>Pieridae</i> que visitan flores con semillas adheridas.	Presencia de especies que visitan flores con semillas adheridas y su distribución en el espacio. Alta dispersión indica un ecosistema conectado.
Turismo y educación	La observación de mariposas atrae turistas y genera ingresos económicos, además de fomentar la educación ambiental y la conciencia sobre la conservación.	<i>Danaus plexippus</i> (Mariposa Monarca), <i>Morpho peleides</i> (Mariposa Morpho azul), <i>Agraulis vanillae</i> (Mariposa del algodoncillo).	Alta diversidad y abundancia de especies atractivas para el turismo. Impacto económico positivo en comunidades locales.

Mariposas como bioindicadores

El uso de especies bioindicadoras es una herramienta prometedora para detectar tempranamente disturbios ambientales que amenazan la biodiversidad (Heink y Kowarik, 2010; González y Vallarino, 2014). Pueden usarse como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas para medir directamente (González y Vallarino, 2014). La esencia de la bioindicación es la predictibilidad de la relación entre una especie

bioindicadora y el parámetro ambiental de interés. Además, el inventario de mariposas y el análisis de su diversidad se ha consolidado como una herramienta válida para evaluar el estado del ecosistema (McGeoch, 2007).

La perturbación del hábitat de las mariposas, impulsada por actividades humanas como la agricultura intensiva, urbanización y deforestación, constantemente modifica parámetros ambientales y de contaminación críticos para su supervivencia. A nivel de contaminación uno de los parámetros cla-



ve que se modifican son el aumento de pesticidas e insecticidas, por ejemplo, la agricultura intensiva introduce químicos como el glifosato que eliminan plantas hospederas como el algodoncillo, que es vital para mariposas como la Monarca, y causan mortalidad directa en larvas y adultos (Newsweek, 2024).

Por otra parte, tenemos el aumento de Nitrógeno en el suelo, esto derivado de la deposición de nitrógeno a causa de la industria lo cual altera la composición del suelo y la calidad nutricional de las plantas de las que se alimentan las orugas.

Mientras que la temperatura impacta significativa y negativamente la riqueza y abundancia total de mariposas. Mientras que, la riqueza de plantas en fragmentos de bosque aumenta positiva y significativamente la riqueza de mariposas (Valdés *et al.*, 2026).

En México, numerosos estudios respaldan su uso como indicadores ecológicos (Pozo y Galindo-Leal, 2006; Maya-Martínez *et al.*, 2009; Balam-Balote y León-Cortés, 2010; González-Valdivia *et al.*, 2016; Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2018). En particular, las especies frugívoras de Nymphalidae y su coloración han sido propuestas como indicadores de calidad del hábitat y alteraciones del paisaje (De la Maza y White, 1990; De la Maza y Soberón, 1998).

Algunas especies de Nymphalidae, Papilionidae y Pieridae fueron mencionadas como bioindicadoras

ecológicas en más de un estudio; las más frecuentes se muestran en la tabla 4 y la figura 2.

El 19 % de la familia Nymphalidae, el 13 % de Pieridae y el 6 % de Hesperidae fueron especies identificadas como indicadoras de ambas categorías ambientales, representado en la tabla 4 (Orta *et al.*, 2022). En algunos casos podrían haber respondido a preferencias de condiciones de hábitat abierto y no como respuesta al disturbio, por ejemplo, *Nathalis iole Boisduval*, *Danaus plexippus plexippus*, *Phoebis philea philea* y *Phoebis sennae marcellina*, consideradas bioindicadores de conservación en un humedal en una reserva ecológica en Chiapas la biosfera Montes Azules (León-Cortés *et al.*, 2019); pero bioindicadoras de disturbio en áreas de selvas bajas (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2017, Legal *et al.*, 2020).

Características de empleo de las mariposas con mayor eficacia

El uso de mariposas como bioindicadores ha demostrado ser una herramienta eficaz para evaluar la salud de los ecosistemas, gracias a su sensibilidad a alteraciones como la pérdida de vegetación o la contaminación (Bonebrake *et al.*, 2010; Orta *et al.*, 2022). Sin embargo, su efectividad depende de factores ecológicos, metodológicos y temporales que condicionan su respuesta ambiental.

La selección del hábitat es clave: al depender de la vegetación para alimentarse y reproducirse, su

Tabla 4. Número de especies bioindicadoras ecológicas de la de la superfamilia Papilionoidea en México. Fuente: Orta *et al.* (2022).

Familia	Bioindicadoras de conservación	Bioindicadoras de áreas con disturbio	De ambas condiciones*	Total
Nymphalidae	26	59	20	105
Pieridae	6	19	4	31
Hesperidae	10	6	1	17
Papilionidae	7	7		14
Lycaenidae	3	6		9
Riodinidae	1	2		3
Total	55	99	25	179

*En diferentes estudios y/o hábitats.

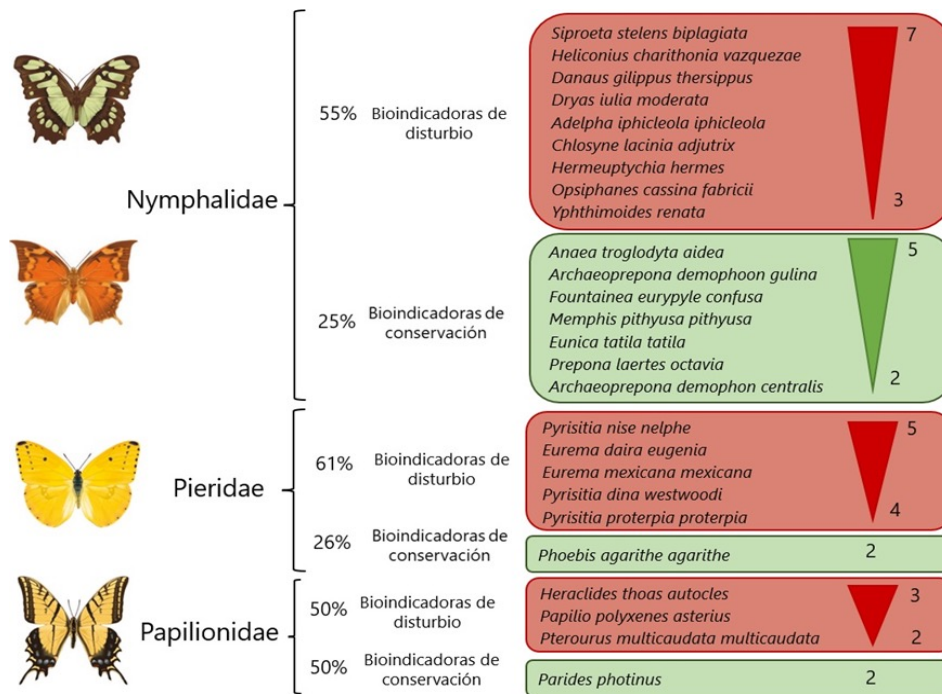


Figura 2. Especies de mariposas mencionadas con mayor frecuencia en la literatura y porcentajes por familia de mariposas bioindicadoras (área roja= de disturbio; área verde= de conservación). (Fuente: Orta *et al.*, 2022).

diversidad refleja directamente las condiciones del entorno vegetal (Brown, 1997; Pozo *et al.*, 2014). Por ello, son especialmente útiles en ecosistemas estructurados como bosques y selvas, pero menos eficaces en áreas urbanizadas sin vegetación nativa (Meléndez Jaramillo, 2020). También es crucial considerar la estacionalidad, ya que sus ciclos de vida están sincronizados con periodos cálidos y húmedos. Muestreos fuera de estas épocas podrían subestimar su diversidad real (Bonebrake *et al.*, 2010).

El monitoreo periódico de mariposas permite distinguir entre variaciones naturales y cambios provocados por disturbios ambientales (Cortés-Gómez *et al.*, 2015). Su efectividad mejora en regiones donde se conoce la composición de especies, ya que algunas son especialistas de hábitat, mientras que otras son generalistas, lo que influye en su valor como indicadores (Llorente-Bousquets *et al.*, 2013). Para ello, es clave contar con guías, bases de datos y apoyo taxonómico, especialmente en zonas tropicales con alta diversidad (CONABIO, 2010).

Se ha demostrado que su uso como bioindicadores es más robusto cuando se complementa con otros grupos biológicos o variables abióticas, como temperatura o cobertura vegetal (Luna *et al.*, 2016; Orta *et al.*, 2022), permitiendo evaluaciones eco-sistémicas más completas (Cortés-Gómez *et al.*, 2015).

Asimismo, su integración en programas de ciencia ciudadana amplía el alcance del monitoreo y fomenta la conservación. Su atractivo visual y facilidad de identificación los convierte en excelentes catalizadores del compromiso comunitario (Orta *et al.*, 2022; Pozo *et al.*, 2014).

Relevancia en estudios de monitoreo ecológico a nivel nacional

Como se ha descrito, la sensibilidad de las mariposas ante la perturbación ambiental convierte este grupo en buenos bioindicadores de la calidad de los ecosistemas, además, su presencia en prácticamente todos los tipos de hábitats terrestres en el país ha permitido su aplicación desde regiones tropicales



hasta zonas urbanas, generando una base de datos cada vez más robusta para estudios comparativos a nivel nacional (Orta *et al.*, 2022).

Uno de los estudios representativos en zonas urbanas es el realizado en Monterrey, Nuevo León, donde se evaluó la composición y diversidad de mariposas en ocho sitios con diferentes grados de urbanización. En total, se registraron 91 especies pertenecientes a seis familias, siendo Nymphalidae la más abundante (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2021). Los autores encontraron que la riqueza específica disminuyó conforme aumentaba el grado de perturbación antrópica, lo que se refleja por ejemplo, en la presencia dominante de *Pyrisitia nise* en zonas muy urbanizadas, mientras que especies como *Danaus plexippus* y *Junonia coenia* se asociaron a sitios con mayor cobertura vegetal y conectividad ecológica, este estudio destaca cómo la estructura del paisaje urbano puede influir directamente en las comunidades de mariposas, convirtiéndolas en indicadores útiles para la planificación urbana sostenible (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2021).

Por otra parte, en ambientes naturales como la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (Morelos), (Legal-Luc *et al.*, 2017), han evidenciado la utilidad de las mariposas para el monitoreo de dinámicas ecológicas a lo largo del tiempo. Allí se documentaron 131 especies asociadas a selva baja caducifolia, y se observaron variaciones significativas en la composición estacional, indicando respuestas a factores como la precipitación y la fenología vegetal. Este tipo de monitoreo permite detectar patrones ecológicos temporales que serían difíciles de observar con otros grupos faunísticos (Rosas-Echeverría *et al.*, 2019). Del mismo modo, en la Reserva Ecológica El Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria, ubicada en Cosalá, Sinaloa (Domínguez-Romo *et al.*, 2016) reportaron que la diversidad de mariposas era significativamente mayor en parches conservados que en zonas perturbadas, el trabajo utilizó índices de diversidad alfa y beta para evaluar la conectividad entre parches, demostrando que la fragmentación del paisaje repercute negativamente en la riqueza de especies, con la desaparición local

de especies como *Colias lesbia* y *Papilio cresphontes* en sitios degradados (Domínguez *et al.*, 2016).

Otro estudio realizado por Arroyo Casas, 2018, evalúa la diversidad de lepidópteros en dos parques urbanos de la ciudad de Puebla, el estudio reveló que los espacios con mayor complejidad vegetal presentaron mayor riqueza y abundancia de mariposas, ya que se registraron especies como *Agraulis vanillae*, *Phoebis sennae* y *Anartia fatima*, las cuales son consideradas indicadoras de hábitats semi-naturales (Blair *et al.*, 1997). Finalmente, en el sureste mexicano, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha documentado la presencia de especies indicadoras en diferentes coberturas vegetales. Por ejemplo, *Heracles thoas* y *Memphis pithyusa* han sido señaladas como sensibles a la pérdida de cobertura forestal en Campeche y Yucatán, reforzando su valor como especies centinela para programas de conservación en la región.

Estrategias de conservación y monitoreo ambiental de las mariposas en México

México desempeña un papel importante en la conservación de mariposas, tanto por la riqueza de especies que alberga como por formar parte de la ruta migratoria de la mariposa Monarca (*Danaus plexippus*). Se estima que el país concentra cerca del 10% de la diversidad mundial de lepidópteros, con aproximadamente 1,800 especies documentadas (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014; Heppner, 1998). Además, México posee varias especies endémicas, como *Papilio esperanza*, exclusiva de Oaxaca (Almaraz Almaraz, 2012), *Baronia brevicornis* en Michoacán (García Díaz, 2018), y *Eurytides epidaus*, endémica de los bosques secos del occidente mexicano (Glassberg, 2018). Esta riqueza convierte al país en un lugar especial para la conservación global de lepidópteros.

No obstante, esta diversidad enfrenta amenazas derivadas de actividades humanas, siendo la deforestación, la fragmentación del hábitat, el cambio climático, el uso de agroquímicos y el turismo no



regulado las principales presiones identificadas (SEMARNAT, 2023). Es todavía más preocupante el impacto sobre especies endémicas de distribución restringida, cuyas poblaciones son muy vulnerables a cambios locales. En la selva Lacandona, se ha documentado una reducción del 40 % en poblaciones de *Morpho peleides* debido a la expansión agrícola (González-Espinosa *et al.*, 2011), mientras que, en el centro del país, la urbanización ha afectado especies como *Papilio esperanza* (Meléndez-Jaramillo, 2020).

Es importante mencionar que, aunque las estrategias de conservación y monitoreo ambiental de las mariposas son diversas, entre ellas destaca la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059-SEMARNAT-2010), en donde se protege a diversas especies de mariposas incluyendo a la *Danaus plexippus* (mariposa monarca) y algunas especies del género *Rothschildia*.

En donde se clasifica la mariposa monarca en la categoría de Protección Especial (Pr), prohibiendo su comercialización y manejo, y establece criterios para su protección en México, ya que enfrenta amenazas significativas por pérdida de hábitat, uso de herbicidas (como el glifosato) y cambio climático, impactando su crucial fenómeno migratorio hacia los bosques mexicanos.

Este tipo de medidas son de suma importancia ya que el cumplimiento de dichas regulaciones asegura la supervivencia de estas especies para preservar la biodiversidad del país.

Por su parte, *Rothschildia cincta* (mariposa cuatro espejos) es otra especie de mariposa, también conocida como polilla cuatro espejos, que fue integrada en la actualización del Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2019, bajo la categoría de “Amenazada” (A).

El caso de la mariposa Monarca demuestra los retos de conservación transfronteriza que enfrenta México. Cada año, millones de individuos migran desde Canadá y Estados Unidos para hibernar en los bosques templados de Michoacán y el Estado de México. Sin embargo, sus hábitats y rutas mi-

gratorias están amenazados por la pérdida de bosques, el cambio climático, la eliminación de algodoncillo (*Asclepias spp.*) por el uso indiscriminado de herbicidas y el turismo masivo no regulado en los santuarios (Sánchez-Jasso *et al.*, 2019; SEMARNAT, 2023).

Ante estas situaciones, México ha implementado diversas estrategias para la conservación de mariposas. Una de las más destacadas es la creación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, que protege más de 56 000 hectáreas de bosques de oyamel, importantes para la hibernación de esta especie (WWF, 2023). Además, se han promovido programas de reforestación con plantas nativas y la creación de corredores biológicos con algodoncillo, fundamentales para garantizar la reproducción y el éxito migratorio de la Monarca (González-Valdivia *et al.*, 2023).

En este contexto, el Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca (2018-2024) constituye una herramienta integral que vincula acciones en economía de la conservación, restauración de hábitats, investigación y monitoreo, inspección y vigilancia, participación social, cultura ambiental, así como mecanismos de coordinación interinstitucional y financiamiento (SEMARNAT, CONANP, 2018). El objetivo principal de este plan es incrementar la superficie ocupada por las colonias hibernantes, reforzar la divulgación de la importancia funcional de la Monarca en los ecosistemas y consolidar la protección del hábitat de esta especie emblemática.

Además de la Monarca, en México se han implementado otras acciones para especies de lepidópteros endémicos y amenazados. Por ejemplo, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán alberga más de 250 especies, incluyendo endémicas como *Doxocopa zalmunna* (CONANP, 2022), mientras que en Oaxaca se han establecido microreservas privadas para la protección de *Battus polydamas* y *Parides alopius*, cuyos hábitats son cada vez más reducidos (Martínez-Morales *et al.*, 2020; IUCN, 2022).



La restauración ecológica ha sido otra buena estrategia, destacando proyectos liderados por la Alianza WWF-Fundación Telcel, que han reforestado más de 1,200 hectáreas con especies nativas en zonas críticas de Michoacán, contribuyendo no solo a la recuperación del hábitat sino también al empoderamiento comunitario (González-Valdivia *et al.*, 2023). En zonas urbanas, las iniciativas de jardines de polinizadores han demostrado ser efectivas, incrementando la diversidad de mariposas en más de un 30 % en áreas verdes de ciudades mexicanas (Hernández-Roldán *et al.*, 2019).

La conservación de mariposas en México también ha incorporado enfoques de participación social e institucional. Actualmente, más de 5 000 familias participan en esquemas de pagos por servicios ambientales en regiones prioritarias para mariposas (CONANP, 2022), mientras que plataformas de ciencia ciudadana como Naturalista registran más de 500 000 observaciones de lepidópteros, convirtiéndose en una fuente de datos para el monitoreo de especies (CONABIO, 2023). Además, la cooperación internacional ha sido importante, especialmente con Estados Unidos y Canadá, en el marco de acuerdos trilaterales para la protección de la Monarca y otras especies migratorias (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

Sin embargo, el Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020-2024 establece lineamientos generales para la conservación de la biodiversidad, pero no detalla programas específicos para la conservación de lepidópteros (CONANP, 2022). Asimismo, la fragmentación del hábitat ha aumentado en diferentes regiones del país, por ejemplo, un estudio de fragmentación y pérdida de conectividad en la Microcuenca Estero El Salado, Jalisco, México, documentó una pérdida significativa de conectividad ecológica entre 2000 y 2021, afectando la biodiversidad local que incluye especies de lepidópteros (González *et al.*, 2023).

Ante estos desafíos, se han propuesto recomendaciones como expandir la red de áreas protegidas enfocadas en mariposas endémicas, desarrollar protocolos estandarizados de monitoreo en todos los

biomas (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008), incrementar la investigación sobre especies poco estudiadas (González *et al.*, 2023), fortalecer la legislación contra pesticidas nocivos (Gobierno de México, 2024), y promover la educación ambiental en escuelas y comunidades (Monarch Butterfly Fund, 2014).

Monitoreo de mariposas como herramienta de conservación

El monitoreo de mariposas se ha consolidado como una herramienta para evaluar la salud de los ecosistemas, gracias a su sensibilidad a cambios ambientales y su papel como indicadores de biodiversidad (Orta *et al.*, 2022). En México, este enfoque ha permitido detectar perturbaciones, diseñar estrategias de conservación y promover la participación comunitaria (De La Maza *et al.*, 1998).

Los estudios de Pozo *et al.* (2014) destacan el uso de transectos estandarizados para registrar abundancia y riqueza de especies, método aplicado en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán para monitorear *Doxocopa laure*, una especie asociada a bosques mesófilos. El programa “Mariposarios Urbanos” en Ciudad de México emplea cámaras trampa y registros fotográficos para seguir poblaciones de *Urbanus proteus*, adaptada a entornos antropizados (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

En áreas tropicales, el muestreo con redes entomológicas y trampas de luz ha sido clave para estudiar mariposas nocturnas como *Rothschildia orizaba*, cuyas larvas son bioindicadoras de contaminación por metales pesados (González-Valdivia *et al.*, 2011). Además, plataformas como Naturalist han facilitado la recopilación de datos de los ciudadanos, como los registros de *Libytheana carinenta* en Sinaloa, que revelaron su desplazamiento hacia altitudes mayores debido al calentamiento global (Glassberg, 2018).

El monitoreo sistemático ha influido en decisiones políticas, como la creación del Corredor Biológico Chichinautzin, área de protección de flora y fauna de México situado en la zona noroeste del



estado de Morelos, donde abarca doce municipios, así como la parte occidental del Estado de México, y las delegaciones políticas de Milpa Alta y Tlalpan al sur de Ciudad de México, diseñado para proteger hábitats de *Pterourus multicaudata* (SEMARNAT,

CONANP, 2018). El INIFAP (2022) recomienda incluir mariposas en evaluaciones de impacto ambiental, basándose en su respuesta rápida a la fragmentación de hábitats.

Conclusiones

Las mariposas en México, reconocidas por su sensibilidad ecológica y estrecha relación con la vegetación, se consolidan como bioindicadores esenciales para evaluar la calidad ambiental, reflejando perturbaciones como fragmentación de hábitats, contaminación y efectos del cambio climático; sin embargo, urgen implementar protocolos estandarizados de diseño experimental y monitoreo continuo, especialmente en ecosistemas áridos y urbanos donde persisten vacíos críticos de información. La integración de estas especies en estrategias multiaxómicas y políticas públicas, como evaluaciones

de impacto ambiental, resulta urgente para aprovechar su capacidad de alerta temprana, tal como lo demuestran estudios en zonas urbanas de Monterrey y reservas como la Mariposa Monarca. Priorizar especies endémicas como *Papilio esperanza* y migratorias como *Danaus plexippus* amenazadas por deforestación y cambio climático, junto con el fortalecimiento de la ciencia ciudadana y la educación ambiental, podría contribuir a la conservación de estas especies importantes para la biodiversidad del país y en el mundo.

Referencias

- Abrol, D. P. (2012). Pollinators as bioindicators of ecosystem functioning. En *Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production* (pp. 509–544). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2_16
- Almaraz Almaraz, M. E. (2012). Distribución, abundancia, tamaño poblacional y movilidad de *Pterourus esperanza* (Insecta: Lepidoptera) en la Sierra Norte de Oaxaca [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Sur]. Repositorio ECOSUR. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2663/1/16728_Documento.pdf
- Balam-Ballote, Y. R., & León-Cortés, J. L. (2010). Forest management and biodiversity: A study of an indicator insect group in Southern Mexico. *Interciencia*, 35(7), 526–533. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33914381010>
- Barranco, L. M. N. (2016). Factores que influyen en la diversidad y distribución de lepidópteros en el parque estatal Flor del bosque, Puebla, México (Tesis de Doctorado). IPICYT. <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1793/1/TDIPICYTB3F32016.pdf>
- Blair, R. & Launer, A. (1997). Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, 80(1): 113–125pp.
- Bonebrake, T. C., Ponisio, L. C., Boggs, C. L., & Ehrlich, P. R. (2010). More than just indicators: A review of tropical butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, 143(8), 1831–1841. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.047>
- Brown J. 1991. Conservation of Neotropical environments: insects as indicators. p. 349–404. En: *The conservation of insects and their habitats* (N. M. Collins y J. A. Thomas, Eds.) Royal Entomological Society Symposium XV, Academic Press, London, England.
- Brown, K. S. (1997). Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, 1(1): 25–42. <https://doi.org/10.1023/A:1018422807610>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2019). Plan de acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México 2018–2024. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/plan-de-accion-para-la-conservacion-de-la-mariposa-monarca-en-mexico-2018-2024>
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2008). Plan de América del Norte para la Conservación de la Mariposa Monarca. Comisión para la Cooperación Ambiental. <https://www.conanp.gob.mx/documentos/PlandeAccion-Monarca2018-2024.pdf>



- CONABIO. (2010). Mariposas de México: Catálogo taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Constantino, L. M., 1996.- Ciclos de vida y plantas hospederas de lepidópteros con potencial económico en condiciones de colinas bajas del Chocó biogeográfico. Investigación y manejo de fauna para la construcción de sistemas sostenibles. CIPAV, Cali, Valle. p. 75-86
- Cortés-Gómez, A. M., Ruiz-Agudelo, C. A., Valencia-Aguilar, A., & Ladle, R. J. (2015). The importance of ecosystem services in ecological monitoring: An example from a tropical amphibian assemblage. *Ecological Indicators*, 55: 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.038>
- De Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, I. N. (s. f.). Mariposas diurnas: indicadoras de ambientes conservados en el tróp. . . gob.mx. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/mariposas-diurnas-indicadoras-de-ambientes-conservados-en-el-tropico-mexicano>
- De la Maza, E. R., & Soberón, J. (1998). Morphological grouping of Mexican butterflies in relation to habitat association. *Biodiversity and Conservation*, 7(7): 927–944. <https://doi.org/10.1023/A:1008877304630>
- De la Maza, E. R., & White, L. A. (1990). Rhopalocera de la huasteca potosina, su distribución, composición, origen y evolución. *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 13(2): 31–89. <https://www.researchgate.net/publication/325976412-Rhopalocera-de-la-Huasteca-Potosina-su-distribucion-origen-y-evolucion-Rev-Soc-Mex-Lep-XIII-No-2-15-de-Junio-de-1980>
- Diario Oficial de la Federación (2010). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010_30-dic-2010.pdf
- García Díaz, J. de J. (2018). Posible impacto del cambio climático en la interacción planta-mariposa: Estudio de caso entre *Baronia brevicornis* y *Acacia cochliacantha* [Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas Puebla]. Repositorio UDLAP. https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/garcia_diaz_jd/etd_2011015829481.pdf
- Glassberg, J. (2018). A Swift Guide to Butterflies of Mexico and Central America: Second Edition. Princeton University Press. <https://books.google.es/books?id=xO07DwAA-QBAJ&clpg=PP1&ots=vJMaMRoIQH&dq=Eurytides%20epidaurus%20endemism&lr&hl=es&pg=PP5#v=onepage&q&f=false>
- Gobierno de México. (2024). Evaluación de la presencia de plaguicidas tóxicos en el aire ambiente y su potencial impacto en apiarios del municipio de Hopelchén. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/924648/009_2024_Evaluaci_n_de_la_presencia_de_plaguicidas_t_xico_en_el_aire_ambiente_y_su_potencial_impacto_en_apiarios_del_municipio_de_hopelc.pdf
- Gómez-Luna, E., D. Fernando-Navas, G. Aponte-Mayor, y L. A. Betancourt-Buitrago (2014), Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización, <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- González, M., López, R., & Sánchez, L. (2023). Fragmentación y pérdida de conectividad en la Microcuenca Estero El Salado, México (2000–2021). ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/378522138_Fragmentacion_y_perdida_de_conectividad_en_la_Microcuenca_Estero_El_Salado_Mexico_2000-2021
- González, Z. C., Vallarino, A. (2014) Los bioindicadores ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente? Pp. 21–40. Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=22c4f86b89e35a54c9da8a7c090d8650>
- González-Valdivia, N. A., Ochoa-Gaona, S., Pozo, C., Ferguson, B. G., Rangel-Ruiz, L. J., Arriaga-Weiss, S. L., Ponce-Mendoza, A., & Kampichler, C. (2011). Indicadores ecológicos de hábitat y biodiversidad en un paisaje neotropical: perspectiva multitaxonómica. *Revista de Biología Tropical*, 59(3): 1433–1451. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000300039
- González-Valdivia, N. A., Pozo, C., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Cambranis, E., Lara, O., Pérez-Hernández, I., Ponce-Mendoza, A., & Kampichler, C. (2016). *Nymphalidae frugívoras* (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas a un ecosistema agropecuario y de bosque tropical lluvioso en un paisaje del sureste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(2): 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.04.003>
- Grecia Maria Peñaloza Alba y DGRNB (2024). Las mariposas monarca y su migración. <https://www.gob.mx/semarnat/polinizadores/es/articulos/las-mariposas-monarca-y-su-migracion?idiom=es>
- Heink, U., Kowarik, I. (2010) What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10 (3): 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Heppner, J. B. (2002). Mexican Lepidoptera biodiversity. *Insecta Mundi*, 16(3-4): 145–162. <https://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/550>
- Hernández-Muñoz, A.E., M.A.A. Rangel-Alvarado, L. Torres-García, G. Hernández-Martínez, P.K. Castillo-Ixta, L.L. Olivares-Moreno, y A.G. Sánchez-Morales (2022). Proceso para la realización de una revisión bibliográfica en investigaciones clínicas, Digital Ciencia@UAQRO, No. 1 <https://acaentmex.org/boletin/revista/2016julio/Bol%2051-56.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2022, mayo 30). Mariposas diurnas: indicadoras de ambientes conservados en el trópico mexicano. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/mariposas-diurnas-indicadoras-de-ambientes-conservados-en-el-tropico-mexicano>



- Kremen, C., Colwell, R. K., Erwin, T. L., Murphy, D. D., Noss, R. F., & Sanjayan, M. A. (1993). Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conservation Biology*, 7(4): 796–808. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740796.x>
- Kremen, C., Colwell, R. K., Erwin, T. L., Murphy, D. D., Noss, R. F. y Sanjayan, M. A. (1993). Ensamblajes de artrópodos terrestres: Su uso en la planificación de la conservación. *Biología de la Conservación: Revista de la Sociedad de Biología de la Conservación*, 7 (4): 796–808. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740796.x>
- León-Cortés, J. L., Caballero, U., Miss-Barrera, I. D., Giron-Intzin, M. (2019) Preserving butterfly diversity in an ever expanding urban landscape? A case study in the highlands of Chiapas, México. *Journal of Insect Conservation*, 23 (2): 405–418. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00149-7>
- Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernández, I., Luis-Martínez, A., Trujano-Ortega, M., Hernández-Mejía, B. C., & Warren, A. D. (2013). Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 353–371. <https://doi.org/10.7550/rmb.31830>
- Luna, I. M., Rodríguez-Peña, R. A., & Cordero, C. (2016). Butterflies as bioindicators of habitat disturbance in arid ecosystems of northern Mexico. *Journal of Insect Conservation*, 20(6): 1087–1099.
- Maya-Martínez, A., Pozo, C., & Schmitter-Soto, J. J. (2009). Distribution patterns of Charaxinae (Lepidoptera: Nymphalidae) in Yucatán península, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 25(2): 283–301. <https://doi.org/10.21829/azm.2009.252625>
- McGeoch, M. A. (2007). Insects and bioindication: theory and progress. En *Insect Conservation Biology* (pp. 144–174). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845932541.0144>
- Meléndez-Jaramillo, E. (2020). Mariposas diurnas (Lepidoptera: papilionoidea) como indicadoras de la calidad ambiental en el área metropolitana de Monterrey, México (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/21681/7/21681.pdf>
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C. M., Sánchez-Reyes, U. J., Herrera-Fernández, B., & Estrada-Castillón, A. E. (2018). Valor indicador de los ninfálidos (Papilionoidea: Nymphalidae) en selva baja espinosa caducifolia del noroeste de México. *Ecología y Comportamiento Entomología Mexicana*, 5: 253–260. <https://www.researchgate.net/publication/328305533>
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C. M., Treviño-Garza, E. J., Sánchez-Reyes, U. J., & Herrera-Fernández, B. (2021). Composition and diversity of butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) along an atmospheric pollution gradient in the Monterrey Metropolitan Area, Mexico. *ZooKeys*, 1037: 73-103. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1037.66001>
- Mingarro, M., Cancela, J. P., Burón-Ugarte, A., García-Barros, E., Munguira, M. L., Romo, H., & Wilson, R. J. (2021). Butterfly communities track climatic variation over space but not time in the Iberian Peninsula. *Insect Conservation and Diversity*. <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/icad.12498>
- Monarch Butterfly Fund. (2014). Talleres de educación y monitoreo ambiental. <https://monarchconservation.org/es/project/environmental-education-and-monitoring-workshops>
- Newsweek en Español (2024). La mariposa monarca disminuye 59 por ciento en México a causa de los pesticidas. https://es-us.noticias.yahoo.com/pesticidas-cambio-clim-C3%A1tico-presencia-mariposas-162952381.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAKnW9XMP5-KvkF2hGdK5ZLqi5so5akRf-j3u1fgqbgcLLRzIXabFGecHrx_CDWsIo0_sijMU-Yp0ESmp8tXk-5iRc8-UNMILL-bjuIJUviheS4p-X0r-2B36w4NIaOwO1CIZ0JXNCFImO9PdK9AMSRe-2cUgKkHjLalR9_xFBHdRM
- Orta, S. C., Reyes-Agüero, J. A., Luis-Martínez, M. A., Muñoz-Robles, C. A., & Méndez, H. C. (2022). Mariposas bioindicadoras ecológicas en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 38: e3812488. <https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812488>
- Padilla Zamora, A. C., Thurman, A., MacDonald, J., & Añino, Y. (2020). Lista sinóptica y frecuencia de recolecta de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en Playa Corona, San Carlos, Panamá. *Poeyana*, (510): 89-92. <https://www.revistasgeotech.com/index.php/poey/article/view/356>
- Pozo, C., & Galindo-Leal, C. (2006). Las mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea) como indicadores para el monitoreo enfocado a la conservación: la región de Calakmul, como estudio de caso. En *Los Rhopalocera de la región de Calakmul, Campeche: Métodos de estudio, fenología y su uso como indicadores de disturbio* (pp. 97–126). UNAM.
- Pozo, C., Luis-Martínez, A., Salas-Suárez, N., Trujano-Ortega, M., & Llorente-Bousquets, J. (2014). Mariposas diurnas: bioindicadoras de eventos actuales e históricos. En C. A. González-Z., A. Vallarino, J. C. Pérez-J., & A. M. Low-P. (Eds.), *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 327–348). ECOSUR / INECC. <https://www.researchgate.net/publication/281897722>
- Ramírez-Ordoñez, J. C., Lozano-Pérez, M., Aguilar-Cazares, G., Gutiérrez-Montaña, A., Yanes-Gómez, G., Jiménez-Moreno, F. J., Orgaz, S. S., & Carrillo, y. U. A. (2023). Mariposas de la Región Central del estado de Puebla, México: Un Acercamiento A Su Conocimiento E Importancia. <https://lum.chiapas.gob.mx/index.php/lum/volumen>
- Robin Hannoteau, R. H., Ravalison, F. A. T., Randrianarivelo, B. F., Ravelomanana, A., Trolin, N., Caparros Megido, R., Segers, A., Francis, F., & Noël, G. (2025). Biodiversidad de lepidópteros en los bosques orientales de Madagascar: evaluación de la distribución de especies en paisajes protegidos y antropizados. *Diversity*, 17(2): 95. <https://doi.org/10.3390/d17020095>



- Rosas-Echeverría, M. V., Coyote-Ávila, C. A., Aguilar-Dorantes, K. M., & Martínez-Peralta, C. (2019). Diversity of Butterflies (Lepidoptera) in Sierra de Huautla, Morelos, México: A Conservation Approach. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(4), 409-417. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz022>
- Sánchez-Jasso, J. M., Estrada-Álvarez, J. C., Medina, J. P., & Estrada-Fernández, B. Y. (2019). Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en el paisaje urbano del municipio de Metepec, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2659>
- SEMARNAT (2019). MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0
- SEMARNAT y CONANP (2018), Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México, 2018–2024, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- SEMARNAT y CONANP. (2018). Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México, 2018–2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Sotolongo, A. M., Morales, Y. D., & de la Cruz Mora, J. M. (2022). Propuesta de estrategia de conservación y monitoreo de lepidópteros en áreas protegidas administradas por ECOVIDA. *Ecovida: Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 12(3), 267-275.
- Stefanescu, C. (2018). Las mariposas diurnas: bellos indicadores de la calidad ambiental de nuestro entorno. *Revista Método*. <https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/las-mariposas-diurnas-bellos-indicadores-de-la-calidad-ambiental-de-nuestro-entorno.html>
- Valdés-Rodríguez, L., Barahona-Segovia, RM, Tello, F. et al. Los predictores del paisaje, el hábitat y el medio ambiente influyen de forma diferencial en la riqueza, abundancia y diversidad de las familias de mariposas en fragmentos de bosque urbano tropical. *Urban Ecosyst*, 29: 29 (2026). <https://doi.org/10.1007/s11252-026-01902-y>
- Vázquez, M. A., Martínez, E., & Sánchez, A. (2019). Mariposas como bioindicadores de calidad ecológica en bosques templados de Michoacán. *Acta Zoológica Mexicana*, 35, 1–18.
- Waltz, A. E. M., & Covington, W. W. (2004). Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response. *Restoration Ecology*, 12(1): 85–96. <https://doi.org/10.1111/j.1061->

Peña Puch, A.C., Rivera Arriaga, E., Lara Flores, M., Matu Fierros, J.M., Memije Canepa, M. 2025. Proyecto: Los Grupos Vulnerables en las Costas y los Océanos en Campeche: Recomendaciones para la Cultura para un Océano Inspirador y Estimulante. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(2): 63-70. doi 10.26359/52462.0709



Proyecto: Los Grupos Vulnerables en las Costas y los Océanos en Campeche: Recomendaciones para la Cultura para un Océano Inspirador y Estimulante

Project: Vulnerable Groups on the Coasts and Oceans in Campeche: Recommendations for a Culture for an Inspiring and Stimulating Ocean

*Angelina del Carmen Peña Puch, Evelia Rivera Arriaga, Maurilio Lara Flores,
Juan Manuel Matu Fierros y Martín Memije Canepa*

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche

**Autor de correspondencia: angcpena@uacam.mx*

doi 10.26359/52462.0709

Recibido 22/agosto/2025. Aceptado 20/octubre/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

El Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030) busca generar conocimientos y ciencia sobre los océanos. El objetivo es revertir el deterioro costero y del océano y promover su desarrollo sostenible. Dentro de los objetivos del Decenio de los Océanos está desarrollar interfaces entre ciencia y política y soluciones para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Este proyecto tiene como objetivo llevar a cabo una investigación humanística descriptiva, cualitativa cuyo objetivo es comprender a los grupos vulnerables de las costas del estado de Campeche en el periodo 2025-2027. La investigación será interdisciplinaria, considerando la sociedad, cultura, historia, actividades productivas, usos de recursos naturales, conocimientos ancestrales (orales y escritos). Se emplea una metodología que incluye la perspectiva de una escucha activa y que está abierta a dialogar con los demás saberes. Se enfocará en entender la base de la comunidad, sus derechos humanos, dignidad de las personas y los sistemas socio-ambientales, sus valores comunes e individuales sobre las costas y el mar, que ayudarán a fundamentar nuevas relaciones con los cambios que está trayendo el cambio climático, la inversión privada, la escasez de recursos y servicios ecosistémicos y la posibilidad de fortalecer sus capacidades para reducir su vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

.Palabras clave: cultura oceánica, grupos vulnerables costeros, Década de los Océanos.



Introducción

Los océanos son esenciales para la vida en la Tierra y fundamentales para la sociedad humana, ya que proporcionan alimentos, empleo, transporte y recursos naturales. Además, regulan el clima, absorben CO₂ y son una valiosa reserva de biodiversidad. Las zonas costeras, por su parte, juegan un papel crucial en la economía, la seguridad nacional y la protección frente al cambio climático (Ávila Foucat, *et al.*, 2020). Sin embargo, los océanos enfrentan una creciente degradación y existe un amplio desconocimiento sobre los beneficios que ofrecen, así como sobre el impacto que las actividades humanas tienen en su salud (Chapman, 2017; Defeo *et al.*, 2021).

La baja presencia de investigaciones transdisciplinarias centradas en los grupos vulnerables de las costas de la península de Yucatán resulta un obstáculo para desarrollar propuestas de cultura oceánica adaptadas a las necesidades de cada comunidad. Por lo que, el enfoque será transdisciplinario e integrará aspectos como sociedad, cultura, historia, etnias, actividades productivas, uso de recursos naturales y conocimientos ancestrales, tanto orales como escritos.

La metodología empleará una perspectiva de escucha activa y fomentará el diálogo entre diferentes saberes. Se buscará entender las bases de la comunidad, sus derechos humanos (como un ambiente sano y seguro), su dignidad y los sistemas socioambientales que los rodean. También se analizarán sus valores colectivos e individuales respecto a las costas y el mar, con el propósito de establecer nuevas relaciones que permitan afrontar los desafíos del cambio climático, la inversión privada, la escasez de recursos y servicios ecosistémicos, así como fortalecer sus capacidades para reducir la vulnerabilidad y promover la adaptación climática.

La propuesta incluye el desarrollo de materiales educativos para la enseñanza de la cultura oceánica en niveles medio superior y superior en los tres estados de la península. Esto se complementará con la creación de recursos didácticos, elaborados con el apoyo de estudiantes de licenciatura y posgrado, y con la capacitación de académicos. Además, se busca mejorar la base científica y tecnológica de los profesores de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), promoviendo una comunicación más efectiva de la investigación en ciencias del mar.

Antecedentes

La ONU proclamó el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible de 2021 a 2030. La meta de la cultura oceánica en el Decenio de los Océanos es incorporar la comprensión de la influencia del océano en las personas y viceversa en las bases de la sociedad (Rivera Arriaga *et al.*, 2024). Los objetivos del Decenio de los Océanos son Promover la ciencia oceánica, Generar conocimiento sobre el océano, Desarrollar soluciones basadas en la ciencia, Mejorar el estado del sistema oceánico, Facilitar el desarrollo sostenible de los océanos, Detener la degradación de los mares y océanos, y Promover la Cultura oceánica.

La cultura oceánica, según la UNESCO, promueve la comprensión mutua entre el océano y las personas, alineándose con el ODS 14 de la Agenda 2030, que busca la gestión sostenible de ecosistemas marinos, detener la pérdida de biodiversidad y abordar problemas como la acidificación de los océanos (Rivera-Arriaga, 2019). Este proyecto propone fomentar la cultura oceánica para enfrentar los desafíos de las costas mexicanas, especialmente en áreas como el golfo de México, el Pacífico y la península de Yucatán, consideradas altamente vulnerables al cambio climático (INECC, 2019). Estas regiones enfrentan amenazas como el aumento



del nivel del mar, eventos meteorológicos extremos y erosión costera, afectando sectores clave como pesca, agricultura y turismo. Además, las poblaciones costeras más pobres, incluyendo mujeres, niños y personas con discapacidad, son las más afectadas debido a su vulnerabilidad y falta de acceso a infraestructura y servicios públicos (UNFCCC, 2022).

Esta investigación se desarrolla en el Instituto de Ecología, Pesca y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), de la Universidad Autónoma de Campeche, con financiamiento Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), bajo la Modalidad de Impulso a la investigación humanística en todas las áreas y campos del saber. Este proyecto tiene como objetivo llevar a cabo una investigación humanística descriptiva, cualitativa cuyo objetivo es comprender a los grupos vulnerables de las costas del estado de Cam-

peche, incluyendo las localidades de Campeche, Lerma, Seybaplaya y Sabancuy.

Se pretende caracterizar a las comunidades costeras con énfasis en los grupos vulnerables para identificar sus condiciones de vida, necesidades e impactos del cambio climático en su vida diaria, como el aumento del nivel del mar, inundaciones costeras severas, tormentas y ciclones más intensos, marejadas ciclónicas más altas, erosión costera, variaciones en la circulación litoral, aumento de la temperatura del agua, muerte de peces o proliferación de algas dañinas, falta de agua dulce, etc.

Lo que queremos en este proyecto es lo que el Decenio de los Océanos promueve, que es desarrollar materiales y cursos/talleres para la cultura oceánica y adaptación al cambio climático que sean comprensibles e ilustrativos específicos para cada una de las comunidades costeras.

Pertinencia de la propuesta

La propuesta presentada se alinea con el objetivo de impulsar agendas de investigación en diversas áreas del saber científico, integrando las humanidades y las ciencias sociales para abordar problemas contemporáneos y reflexionar desde perspectivas humanistas y críticas.

- **Interdisciplinariedad y enfoque crítico.** La investigación propuesta es transdisciplinaria, combinando saberes de las ciencias sociales, humanidades y ambientales para analizar el impacto del cambio climático, la inversión privada y otros factores en comunidades costeras vulnerables. Esto fomenta reflexiones críticas sobre las dinámicas socioeconómicas y ecológicas que afectan a estas regiones.
- **Enfoque en problemas contemporáneos.** Aborda cuestiones actuales como el cambio climático, la degradación ambiental, la seguridad alimentaria y la escasez de recursos, así como los retos socioeconómicos en las costas de Campeche. Estos problemas reflejan desa-

ños globales, pero se contextualizan con un enfoque local y regional.

- **Inclusión de visiones humanistas y culturales.** La propuesta resalta la importancia de comprender la historia, cultura, etnias y conocimientos ancestrales de las comunidades. Este enfoque permite valorar y preservar las perspectivas y saberes locales, promoviendo un entendimiento integral y respetuoso del devenir sociocultural e histórico.
- **Conexión con la educación y transformación social.** Al proponer materiales didácticos y la capacitación de docentes, se fomenta la educación crítica y el fortalecimiento de capacidades en las comunidades y sistemas educativos. Esto genera un impacto en el conocimiento y la relación con los océanos y sus recursos.

En conjunto, este proyecto no solo promueve el avance del conocimiento científico y atiende aspectos sociales, históricos y culturales desde una visión integradora. Esto lo convierte en un ejemplo claro



de cómo las agendas de investigación pueden contribuir a reflexionar y actuar sobre problemas contemporáneos de manera crítica y humanista.

Las preguntas de investigación que abordará el proyecto son las siguientes:

- ¿Cuáles son los principales retos que enfrentan los grupos vulnerables en las costas de Campeche?
- ¿Qué estrategias pueden implementarse en la cultura oceánica para fomentar un océano inspirador y estimulante que mejore sus condiciones de vida y resiliencia?
- ¿Cuáles son las características humanísticas, ambientales y económicas que definen a los grupos vulnerables en las poblaciones costeras?

¿Cómo influyen en su interacción con el entorno marino y su resiliencia frente a los desafíos contemporáneos?

- ¿Qué condiciones culturales, sociales, de participación y organización caracterizan a los grupos vulnerables dentro de las comunidades costeras? ¿Cómo influyen en su capacidad para enfrentar los retos relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad?
- ¿Cómo son las condiciones de vida actuales de los grupos vulnerables en las poblaciones costeras de Campeche? ¿Cuál es su relación con el entorno natural que los rodea, considerando los sistemas socio-ambientales presentes?

Métodología

Este proyecto se desarrollará en tres etapas:

Etapas 1. Se utilizará la metodología de Investigación Acción Participativa (IAP), reconocida por fomentar el pensamiento crítico, el empoderamiento y la transformación de los grupos vulnerables (Schmelkes, 1986; Ynoub, 2023; Hernández Muñoz *et al.*, 2024). La IAP se distingue por comprender las condiciones de vida, los problemas enfrentados y los procesos de cambio, con la participación de las comunidades en todas las etapas: investigación, reflexión y acción (De Schutter, 1989; García Cedeño *et al.*, 2023; Savery, 2006). Para Fals Borda (2008), es vital que las comunidades conozcan sus propias condiciones para defender sus intereses y promover la justicia social. Se realizará un diagnóstico actual, identificando las características humanísticas, ambientales y económicas de los grupos vulnerables en las poblaciones costeras de Campeche, junto con sus condiciones culturales, sociales y de organización. Se logrará mediante encuestas, entrevistas semiestructuradas y observación de campo. Los datos obtenidos serán analizados teóricamente para elaborar diagnósticos comunitarios.

Etapas 2. El proyecto utilizará mapas comunitarios y cartografía socioambiental participativa para visibilizar los retos y vulnerabilidades de las comunidades costeras de Campeche, fortaleciendo su empoderamiento y reconstrucción territorial. Los resultados serán base para talleres participativos que diseñen propuestas de mejora enfocadas en la sostenibilidad, conservación de ecosistemas y adaptación al cambio climático. Se priorizará la participación representativa de las comunidades en un proceso de acción-reflexión, promoviendo su gobernanza y capacidad de tomar decisiones. Los investigadores trabajarán comprometidos con los intereses populares, impulsando una transformación comunitaria en aspectos ambientales, sociales y económicos (Schmerkel, 1986; Fals Borda, 2008).

Etapas 3. La metodología del proyecto se basa en enfoques transdisciplinarios y activos de aprendizaje, alineados con los principios de la Nueva Escuela Mexicana (NEM). Se diseñarán materiales educativos para nivel medio, ajustados a las particularidades culturales y sociales de cada comunidad. Las metodologías incluyen:



- Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): Los estudiantes desarrollan soluciones innovadoras para las problemáticas costeras mediante investigación y aplicación del conocimiento en contextos reales (Krajcik & Blumenfeld, 2006).
- Aprendizaje Basado en Indagación STEAM: Integra ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas para fomentar un aprendizaje significativo y creativo (Bybee, 2010).

Resultados esperados al 2027

- Caracterización de grupos vulnerables: Identificar sus características humanísticas, ambientales y económicas, además de condiciones culturales, sociales y organizativas.
- Sistemas socioambientales: Evaluar condiciones de vida y su relación con el entorno en Campeche, Lerma, Seybaplaya y Sabancuy; generar un reporte técnico y publicaciones científica.
- Concienciación comunitaria: Llevar a cabo talleres educativos sobre cultura oceánica, impactando a los participantes de grupos vulnerables.
- Materiales educativos: Diseñar materiales didácticos adaptados a los avances y resultados del proyecto y distribuir a la población en general.
- Capacitación docente: Formar a profesores de nivel medio superior y superior para enseñar sobre la importancia de los océanos.

Conclusión

El proyecto plantea una investigación transdisciplinaria centrada en las comunidades costeras de Campeche, lo que lo convierte en una iniciativa que aborda dimensiones fundamentales para la construcción de una agenda nacional crítica y reflexiva. A continuación, se destacan sus aportes en el impacto en la Agenda Nacional de México 2025, ya que la propuesta aborda temas prioritarios como el cambio climático, la sostenibilidad y la resiliencia comunitaria, alineándose con los objetivos de la Agenda Nacional.

Además, promueve el desarrollo de capacidades locales y regionales, fortaleciendo la educación y la equidad en el acceso al conocimiento.

Reflexión sobre el devenir sociocultural e histórico, ya que el proyecto explora las características humanísticas, culturales y sociales de los grupos vulnerables, integrando saberes ancestrales y dinámicas contemporáneas. Esto fomenta una valoración crítica de las transformaciones socioculturales

en México, enmarcándolas dentro de su contexto histórico.

A su vez el proyecto formula la inclusión de perspectivas diversas, al incorporar actividades productivas y conocimientos locales, el proyecto enriquece el diálogo entre áreas del conocimiento y promueve una visión integradora que combina humanidades, ciencias sociales y ciencias naturales. También fortalece el vínculo sociedad-naturaleza ya que la investigación de los sistemas socio-ambientales y la relación de las comunidades con los océanos contribuye a una comprensión más profunda de los desafíos ecológicos y sociales de México, generando insumos para políticas públicas sostenibles. Finalmente ayuda a una educación crítica y formación de futuros líderes, mediante la capacitación docente y la elaboración de materiales didácticos, el proyecto impulsa el desarrollo de una cultura oceánica consciente y crítica, formando jóvenes y docentes capaces de reflexionar y actuar



sobre los problemas nacionales. El proyecto no solo contribuye al entendimiento de las comunidades costeras de Campeche, sino que también fomenta

una agenda nacional que articula el conocimiento interdisciplinario con la reflexión crítica sobre los retos contemporáneos.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), con financiamiento del proyecto “Los grupos vulnerables en las costas y los océanos en Campeche: Recomendaciones para la Cultura para Un océano inspirador y estimulante”. Expresamos nuestro reconocimiento al Instituto de

Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), a la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación y a la Universidad Autónoma de Campeche por las facilidades otorgadas para la realización de las visitas a las comunidades.

Referencias

- Ávila Foucat, S.V., Torres, A., Esqueda, K., Medellín, G., Salgado, U., González, C., Ramírez, A., Reyna, M. (2020). Trayectoria de los socioecosistemas costeros. In: Ávila S, Espejel I, editors. *Resiliencia de los socioecosistemas costeros*. México. p. 135–167.
- Bybee, R. W. (2010). *The Teaching of Science: 21st-Century Perspectives*. NSTA Press.
- Chapman, P.M. (2017). Assessing and managing stressors in a changing marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 124 (2): 587–590. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.039>.
- Defeo, O., McLachlan, A., Armitage, D., Elliott, M., Pittman, J. (2021). Sandy beach social–ecological systems at risk: regime shifts, collapses, and governance challenges. *Front. Ecol. Environ.* 19 (10): 564–573. <https://doi.org/10.1002/fee.2406>.
- De Schutter, A. (1989). *Método y proceso de la investigación participativa en la capacitación rural*. México, CREFAL.
- Elliott, J. (2010). *La investigación – acción en educación*. Madrid, Morata.
- Fals Borda, O. (2008). Orígenes Universales y Retos Actuales de la IAP, *Peripecias* (110).
- García Cedeño, M. L., Moreira Chica, T. K., Quijano Velásquez, N. T., & Gutiérrez Santana, J. A. (2023). Resiliencia a través de programas de intervención social: enfoque basado en evidencias. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(10): 922-935.
- Hernández Muñoz, M. A., Preciado Becerra, L. C., Escamilla, S. L., & Nava Pérez, M. T. (2024). Propuesta de mejora del seguimiento de indicadores del programa de trabajo anual, en una institución pública de educación superior. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 2238-2258.
- INECC. (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México* (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ed.; 1st ed.).
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-Based Learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge University Press.
- Rivera-Arriaga, E. (2019). El reto de la gobernanza para el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14. In E. Rivera-Arriaga, P. Sánchez-Gil, & J. Gutiérrez-Lara (Eds.), *Tópicos de Agenda en la sostenibilidad de las costas y mares mexicanos* (pp. 321–334). UAC Red Ricomar.
- Rivera-Arriaga, E., Peña-Puch, A., & Lara-Flores, M. (2024). Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4, 13 y 14 en la Educación Superior: El caso del Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX) de la Universidad Autónoma de Campeche. In A. Reyes Vázquez & O. Jiménez Ojeda (Eds.), *Educación superior con responsabilidad social hacia un futuro próximo* (1st ed., pp. 45–74). UNACH-ANUIES Consejo Regional Sur Sureste.
- Savery, J. R. (2006). Overview of Problem-Based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1): 9-20.
- Schmelkes, S. (1986). *Fundamentos de la Investigación Acción Participativa*. Biblioteca Digital CREFAL.
- UNFCCC. (2022). Dimensions and examples of the gender-differentiated impacts of climate change, the role of women as agents of change and opportunities for women. Synthesis report by the secretariat.
- Ynoub, R. (2023). Revisitando el legado de Fals Borda y la investigación-militante: consideraciones desde su marco histórico, ideológico y metodológico. *Revista Perspectivas Metodológicas*, 1–21.



Vidal-Hernández, L.E., Rivera-Arriaga, E., Peña Puch, A.C., Palomo, E., Coronado, E. 2025. Proyecto: Fortalecimiento de la Resiliencia Socioecológica Costera ante el Cambio Climático, un reto de Ciencia de Frontera. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(2): 71-80. doi 10.26359/52462.0710



Proyecto: Fortalecimiento de la Resiliencia Socioecológica Costera ante el Cambio Climático, un reto de Ciencia de Frontera

Project: Strengthening Coastal Socio-Ecological Resilience to Climate Change, a Frontier Science Challenge

*Laura Elena Vidal-Hernández¹, Evelia Rivera-Arriaga²,
Angelina del C. Peña Puch², Leopoldo Palomo³ y Eva Coronado⁴*

¹Facultad de Ciencias, UMDI-Sisal,
Universidad Nacional Autónoma de México.

²Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche

³Escuela de Recursos Naturales. Universidad Marista de Mérida

⁴Escuela Nacional de Estudios Superiores. Unidad Mérida. Universidad Nacional Autónoma de México.
Ecomorphoses, Consultoría. Mérida, Yucatán, México

**Autor de correspondencia: laurae.vidal@ciencias.unam.mx*

doi 10.26359/52462.0710

Recibido 01/enero/2025. Aceptado 20/mayo/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

Esta investigación se enmarca en el proyecto “Fundamentos científicos para el fortalecimiento de la Resiliencia Socio-ecológica ante el Cambio Climático en zonas costeras de México”, y tiene como objetivo aportar las bases científicas para fortalecer la resiliencia de los Socioecosistemas (SES) costeros ante los desafíos del cambio climático (CC). Organiza sus actividades en cuatro ejes: comprender los retos socio-ambientales de los efectos adversos del CC, identificar las capacidades de gobernanza para enfrentar tales retos, identificar los requerimientos de capacitación y presupuestarios para desarrollar actividades productivas alternativas y la elaboración de programas comunitarios de manejo costero adaptativo. Cada eje se diseñó para fortalecer el conocimiento de las instancias de toma de decisiones para la resiliencia socio-ambiental, armonizar el conocimiento empírico local con el científico para enriquecer la toma de decisiones y promover prácticas sostenibles en los ecosistemas costeros. De cada SES: 1. Se sistematizará el conocimiento científico y empírico local sobre los retos que enfrenta para ser resiliente ante los efectos adversos del CC; 2. Se identificarán las capacidades de gobernanza que las comunidades deberán desarrollar para contrarrestar los efectos del CC, a través de la educación socio-ambiental y la comunicación responsable, inclusiva y participativa; 3. Se identificarán actividades productivas alternativas a la pesca que contribuyan a mejorar las condiciones de vida, así como la viabilidad técnica y financiera para llevarse a cabo; 4. Se construirán capacidades para la planificación comunitaria inclusiva que mejore la resiliencia socio-ambiental y las condiciones de bienestar de las comunidades costeras. El proyecto permitirá el fortalecimiento colaborativo, corresponsable y permanente, basado en la identidad de cada SES, con un modelo que puede replicarse en otras comunidades costeras de la Península de Yucatán y de México.

Palabras clave: socioecosistemas costeros, gobernanza socio-ambiental, cambio climático, economía sostenible, bienestar comunitario, comunidad de aprendizaje evolutivo.

Abstract

This research is part of the project “Scientific foundations for strengthening socio-ecological resilience to climate change in coastal areas of Mexico,” and aims to provide the scientific basis for strengthening the resilience of coastal socio-ecosystems (SES) to the challenges of climate change (CC). Its activities are organized around four areas: understanding the socio-environmental challenges of the adverse effects of CC, identifying governance capacities to address these challenges, identifying training and budgetary requirements to develop alternative productive activities, and developing community-based adaptive coastal management programs. Each area was designed to strengthen the knowledge of decision-making bodies for socio-environmental resilience, harmonize local empirical knowledge with scientific knowledge to enrich decision-making, and promote sustainable practices in coastal ecosystems. For each SES: 1. Local scientific and empirical knowledge on the challenges faced in order to be resilient to the adverse effects of CC will be systematized; 2. The governance capacities that communities will need to develop to counteract the effects of CC will be identified through socio-environmental education and responsible, inclusive, and participatory communication; 3. Alternative productive activities to fishing that contribute to improving living conditions will be identified, as well as the technical and financial feasibility of carrying them out; 4. Capacities for inclusive community planning will be built to improve the socio-environmental resilience and well-being of coastal communities. The project will enable collaborative, co-responsible, and ongoing strengthening based on the identity of each SES, with a model that can be replicated in other coastal communities in the Yucatan Peninsula and Mexico.

Keywords: Coastal socio-ecosystem, socio environmental governance, climate change, sustainable economy, community wellbeing, evolutionary learning community.



Introducción

La investigación sobre la resiliencia de los Socioecosistemas (SES) frente al cambio climático (CC) busca la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de las comunidades para hacer frente a los desafíos socioambientales actuales. En este sentido, los proyectos de Ciencia de Frontera buscan el bienestar y la armonía de las poblaciones costeras con su entorno biofísico, centrándose en abordar problemas complejos de difícil atención y con alto impacto potencial, como es la adaptación ante el CC. El paradigma dominante de la ciencia desde un enfoque unidisciplinario para abordar problemas complejos de frontera es sujeto de controversia en la comunidad científica, ya que éstos conllevan un nivel alto de incertidumbre al emplear metodologías y conceptos atípicos (Medina-Borges, 2023). Por tal motivo, la investigación de la resiliencia de los SES desde un enfoque multidisciplinario y transdisciplinario combina conocimientos científicos, sociales y tradicionales para lograr una comprensión más completa y contextualizada de los problemas y sus soluciones.

El proyecto aquí descrito es financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (CBF-2025-G-642) y tiene como objetivo aportar las bases científicas para fortalecer la resiliencia de cuatro comunidades costeras ante los retos del CC. El proyecto se articula en cuatro ejes de acción basados en el conocimiento empírico local y la promoción de prácticas sostenibles, para elaborar Programas Comunitarios de Manejo Costero Adaptativos que fortalezcan la resiliencia en cada SES costero.

En la figura 1 se presenta un modelo analítico de un sistema complejo (Castañares, 2009) que muestra cada uno de los ejes de acción. Estos ejes fomentan el diálogo y la interacción interdisciplinaria entre académicos y comunidades, promoviendo el aprendizaje evolutivo comunitario basado en principios de resiliencia (Biggs *et al.*, 2015) y subsidiariedad de los sistemas socioecológicos (Peters, 2018). A continuación, se describen cada uno de los ejes del modelo propuesto:

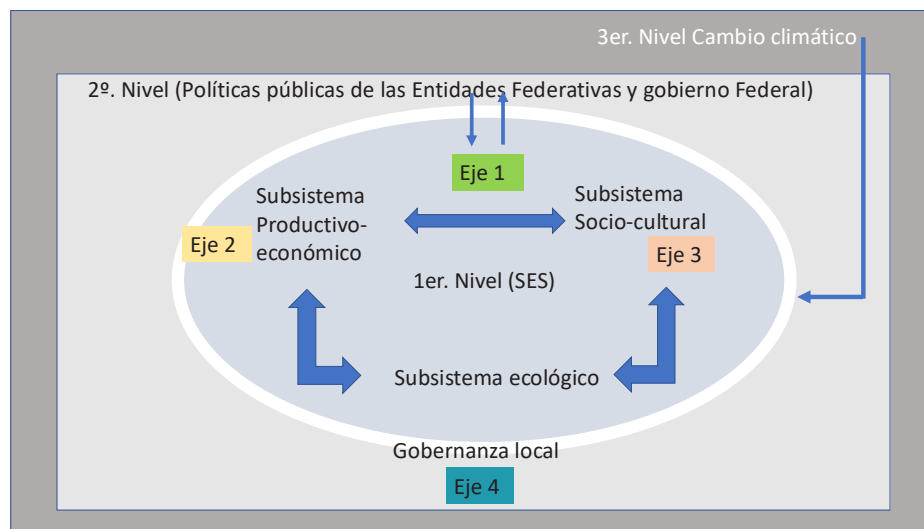


Figura. 1. Ejes de acción del proyecto en el modelo modificado de componentes analíticos de un sistema complejo (Castañares, 2009).



- **Eje 1.** Comprender los retos socio-ambientales asociados al CC de cada uno de los sistemas socioecológicos utilizando el marco SES de Ostrom, modificado por McGinnis y Ostrom (2014).
- **Eje 2.** Evaluar actividades productivas alternativas y viables para reducir la dependencia de actividades insostenibles o deterioradas, identificando los requerimientos técnicos y presupuestarios para su franco desarrollo.
- **Eje 3.** Desarrollar capacidades en educación climática y gobernanza comunitaria (Vidal-Hernández *et al.*, 2024), para fortalecer el conocimiento de las vulnerabilidades locales y promover las habilidades y valores necesarios para que los habitantes puedan participar activamente en la toma de decisiones frente a los efectos del cambio climático.
- **Eje 4.** Planificar a nivel comunitario estrategias coordinadas de adaptación al cambio climático, fundamentadas en criterios científicos específicos para cada SES, permitiendo elaborar un programa de manejo costero adaptativo para cada comunidad.

En conjunto, la resiliencia se construye sobre múltiples pilares interconectados, de procesos dinámicos que requieren constante interacción entre sus componentes. Este proyecto permitirá que las comunidades costeras de Seybaplaya y Sabancuy en Campeche, y Sisal y Dzilam de Bravo en Yucatán, fortalezcan sus capacidades para enfrentar el cambio climático de forma colaborativa, responsable y permanente; con respeto a la identidad histórica y cultural, a través de un modelo de investigación que puede replicarse en otras comunidades costeras de la Península de Yucatán y de México.

Antecedentes

Las zonas costeras de México están frecuentemente expuestas a diversas amenazas naturales que pueden derivar en desastres cuyos efectos sociales y económicos pueden tardar décadas en ser resarcidos. Para la península de Yucatán (PY), las amenazas hidrometeorológicas intensificadas por el cambio climático, causan inundaciones persistentes de la planicie costera, incendios, impacto hidráulico por la acción de las olas y del viento (Sosa-Ferreira, 2010), hechos que son determinantes en la continuidad de las actividades productivas y en las formas de vida en la costa. La región de la PY también está crecientemente sujeta a presiones locales, regionales, nacionales e internacionales de desarrollo y crecimiento que aumentan su vulnerabilidad a estas amenazas (Gobierno de México, 2020-2030; Coronado, 2020).

Una forma más holística de aproximarse al riesgo de estos sistemas es a través de estudiarlos como socioecosistemas (SES). Es decir, sistemas adaptativos complejos, con propiedades resultado de

interacciones de diferente índole que no pueden ser analizadas desde sus componentes o interacciones individuales (De Vos *et al.*, 2019; Biggs *et al.*, 2015; Ávila-Foucat & Espejel, 2020). Su trayectoria ante el riesgo puede estudiarse a través de la resiliencia. La resiliencia es la capacidad del sistema de absorber disturbios y reorganizarse mientras experimenta cambios y al mismo tiempo mantiene sus funciones esenciales, estructura, identidad y retroalimentación (Walker *et al.*, 2004). Ante estresores y disturbios, los SES se autoorganizan y aprenden para mantener o mejorar su estructura básica esencial y su funcionamiento (Ifejika-Speranza *et al.*, 2014).

La investigación transdisciplinaria busca ir más allá de la mera suma de disciplinas (multidisciplinariedad) o de la interacción entre ellas (interdisciplinariedad) para trascenderlas y formar un enfoque holístico que genere un nuevo conocimiento y soluciones a problemas complejos. Implica la colaboración entre investigadores académicos y acto-



res no científicos (como servidores públicos, sector privado y ciudadanos) para desarrollar soluciones efectivas y aplicables en la solución de problemáticas comunes (Paoli Bolio, 2019).

Los elementos clave de la transdisciplina son los siguientes (Merçon, 2022): 1) integración de perspectivas. Esto es, combina teorías, conceptos y métodos de diversas disciplinas académicas y saberes no científicos para un enfoque más completo. 2) Participación de actores sociales, lo que involucra a diferentes grupos de la comunidad costera en todas las etapas del proceso de investigación. 3) Diálogo y aprendizaje mutuo para promover un diálogo activo y un aprendizaje compartido entre todos los participantes para co-crear nuevo conocimiento. 4) Enfoque en problemas apegados a la realidad, ya que se centra en abordar desafíos complejos y urgentes de la sociedad, como los relacionados con el desarrollo sostenible. 5) Marco conceptual compartido, con lo que se busca desarrollar un marco de referencia común que sirva de base para la colaboración y la producción de conocimiento para todas las disciplinas.

De acuerdo con Sustainability Methods (s/f), la importancia de la investigación transdisciplinaria es que genera conocimiento socialmente robusto y aplicable, ya que considera los contextos y vivencias del mundo real. Además, busca transformar realidades sociales y ambientales, aportando soluciones prácticas y sostenibles. Democratiza el conocimiento ya que se fundamenta en los saberes de todas las partes interesadas, valora e incorpora las experiencias y saberes de diversos actores, promoviendo la participación en la construcción del conocimiento. Parte de una visión holística, lo que permite abordar la complejidad de los problemas al trascender las visiones fragmentadas de las disciplinas individuales. Y contribuye a un desarrollo humano sustentable, basado en la aplicación de valores éticos y el respeto por la naturaleza.

La comprensión del riesgo requiere de un enfoque multi e interdisciplinario que integre el estudio de casos empíricos para lograr una gestión más adecuada de los procesos que intervienen en los SES

(Cardona, 2003; Castañares, 2009; FAO, 2009). Este estudio no solo permite identificar indicadores estáticos de riesgo, sino que también revela procesos de cambio que corresponden más a la capacidad adaptativa de los procesos de aprendizaje para la gobernanza.

Por otra parte, la gobernanza es el proceso en el que se toman decisiones y formulan políticas sobre las interacciones ambientales, económicas y sociales mediante el quehacer gubernamental (normativo y administrativo) y la participación de la sociedad coordinada (Rivera-Arriaga *et al.*, 2019). En este contexto, el manejo de riesgo es un área donde es indispensable la actuación colectiva y coordinada de diferentes sectores de la sociedad (FAO, 2009) en las escalas espaciales y temporales adecuadas (Morrow, 1999 y Cuttler *et al.*, 2000). Si bien la escala espacial más usada en estudios de vulnerabilidad y riesgo es a nivel regional y municipal (mayores a 1:50 000 000), esta no necesariamente cubre todas las necesidades y particularidades de cada comunidad o socioecosistema; ya que en ellas concurren múltiples factores regidos por la propia dinámica social, económica, política y ambiental (Pillet-Capdepón, 2008). Por ello, es necesario que la investigación se ajuste a escalas más locales, especialmente en sistemas que enfrentan condiciones críticas de desventaja y debilidad socioeconómica (Cardona, 2003), con bajos niveles de educación y economías dependientes de actividades primarias, con pocas opciones de diversificación económica. La pérdida de cosechas o la disminución de las poblaciones de peces debido a cambios en la temperatura del agua, la acidificación, la erosión costera, o los frecuentes eventos meteorológicos extremos, hacen que las comunidades costeras de México sean particularmente vulnerables a estos impactos directos (Vidal-Hernández *et al.*, 2021).

Las comunidades de las costas de la Península de Yucatán son las regiones de mayor exposición y vulnerabilidad ante el cambio climático, siendo prioritario desarrollar herramientas para atender el riesgo y fortalecer la resiliencia de sus habitantes.



La **pregunta de investigación** general del proyecto es ¿Cómo pueden los sistemas socioecológicos costeros adaptarse al cambio climático a partir de la diversificación económica y la creación de capacidades de gobernanza bajo procesos de investigación transdisciplinaria?

Las preguntas específicas de investigación transdisciplinaria del proyecto son las siguientes:

Eje 1. Caracterización del Sistema Socioambiental

¿Qué características de los sistemas socioecológicos en las zonas costeras son clave para comprender los retos socioambientales integrando conocimientos ecológicos y sociales de los distintos usuarios, para fortalecer su resiliencia y capacidad de adaptación ante el cambio climático? (Conocimiento de lo que es)

Eje 2. Alternativas productivas

¿Cómo integrar los conocimientos y necesidades locales para impulsar y promover nuevas actividades productivas de las zonas costeras a través de

financiación y conocimiento transdisciplinario que permitan mantener proyectos productivos frente a un futuro cambiante? (Conocimiento de lo que debería ser).

Eje 3. Capacidades en educación climática y gobernanza comunitaria

¿Cómo la educación climática, en combinación con enfoques transdisciplinarios y nuevos modelos de gobernanza comunitaria, promueve el desarrollo sostenible para las regiones costeras vulnerables al cambio climático?

Eje 4. Planificación a nivel comunitario de estrategias coordinadas de adaptación

¿Cómo la Gobernanza participativa y la Ciencia de Frontera transdisciplinaria favorecen la creación de conocimientos transformadores para que los tomadores de decisiones y las comunidades costeras adopten estrategias de manejo adaptativo ante el cambio climático y otros estresores socioambientales? (Conocimiento transformador).

Metodología

En cada estado y en cada SES se caracterizará la información sobre sus retos económicos, sociales y ambientales asociados al cambio climático. Se utilizará como guía metodológica el marco SES de Ostrom modificado por McGinnis y Ostrom (2014), lo cual permitirá analizar las variables de segundo nivel y sus interacciones en un esquema comparativo. La selección de variables se realizará en función de tres criterios: (i) relevancia para la resiliencia socioecológica, (ii) pertinencia en el contexto local de cada comunidad y (iii) disponibilidad de información primaria y secundaria. Los métodos seleccionados para estos análisis (incluyendo sus redes sociales), incluirán consulta bibliográfica y trabajo de campo con entrevistas y encuestas semiestructuradas y no estructuradas, cuadernos de bitácora de organizaciones socio-productivas y métodos de ob-

servación participativa. Este procedimiento permitirá captar la complejidad de las dinámicas locales y será desarrollado siguiendo las recomendaciones metodológicas reportadas en Palomo y Hernández-Flores (2019).

Para identificar actividades económicas alternas a la pesca, se realizarán entrevistas semiestructuradas y no estructuradas a actores clave de cada comunidad. Posteriormente, se diseñará el esquema del plan de la red de valor de la actividad productiva alterna seleccionada en cada SES. Este esquema incluirá: necesidades de equipo e infraestructura, requerimientos tecnológicos, capacitación del personal y un análisis de costo-beneficio con enfoque socioeconómico, considerando tanto beneficios directos como externalidades ambientales y sociales.



De manera complementaria, se elaborará el programa de cada curso-taller en coproducción con las comunidades, el cual contendrá la justificación, objetivos, contenidos a desarrollar, estrategias didácticas, recursos y materiales, mecanismos de evaluación de aprendizajes y fuentes de información. Estos programas se diseñarán según la teoría del aprendizaje constructivista y del enfoque basado en competencias (Tünnermann, 2011), asegurando la transferencia efectiva de capacidades locales.

Para el diagnóstico de las capacidades de gobernanza para enfrentar los retos socio-ambientales asociados al cambio climático por sitio, se utilizará la experiencia compilada en Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre (Rivera-Arriaga *et al.*, 2019). Para ello, se realizarán entrevistas, revisión documental, análisis de arreglos institucionales, con énfasis en la cooperación y la acción colectiva.

Adicionalmente, se llevará a cabo un análisis de redes de colaboración entre usuarios de los recursos naturales, con el objetivo de evaluar la densidad, cohesión y resiliencia de los vínculos sociales, así como sus implicaciones en la gobernanza de las comunidades. Este análisis servirá de base para el planteamiento de objetivos en los Programas Comunitarios de Manejo Costero Adaptativo, a través de la colaboración y participación con las comunidades.

Finalmente, se diseñarán indicadores de efectividad del proceso de fortalecimiento de la resiliencia, evidenciando la integración significativa en el crecimiento personal y comunitario, fortalecimiento de la organización social y capacidad adaptativa de las comunidades con la naturaleza. Estas estrategias permitirán evaluar los métodos y procedimientos adaptativos y transformativos de la resiliencia socioecológica (Walker *et al.*, 2004; Ávila-Foucat & Espejel, 2020).

Resultados esperados

Los resultados esperados se estructurarán en tres etapas progresivas para fortalecer la resiliencia socioecológica de los sistemas costeros ante el cambio climático:

Etapas 1:

- Documento con el conocimiento científico y empírico de los retos socio-ambientales asociados al cambio climático sistematizado por sitio.
- Documento con la identificación y conformación de una red de informantes clave por sitio.
- Minutas y acuerdos sobre reuniones para identificar actividades económicas alternas a la pesca por SES.

Etapas 2:

- Planes del proyecto de actividades productivas alternas para cada sitio de estudio, incluyendo análisis de viabilidad y requerimientos para su implantación.

- Programa de cada curso-taller de educación socio-ambiental y para el cambio climático contextualizado para cada sitio.
- Diagnóstico de las capacidades de gobernanza para enfrentar los retos socio-ambientales asociados al cambio climático por sitio.

Etapas 3:

- Elaboración de los cuatro Programas Comunitarios de Manejo Costero Adaptativo, uno por cada SES estudiado.
- Reporte de evaluación de resultados y productos del proyecto, que integrará los aprendizajes, propuestas de actividades productivas, indicadores de resiliencia y los procesos de replicabilidad en otros contextos costeros.



Discusión

Fortalecer la Resiliencia Socioecológica costera ante el Cambio Climático desde la práctica de un colectivo interdisciplinario que busca transitar hacia la investigación transdisciplinar, constituye un reto de Ciencia de Frontera, no solo por la complejidad de las interacciones epistemológicas, cognitivas, de terminología, de procedimientos y de datos que involucra, sino también por la comprensión misma de qué significa enfrentar problemas “retorcidos” propios de la ciencia posnormal (Frodeman *et al.*, 2017; Rittel & Webber, 1973).

El proceso de investigación aquí planteado, atiende a una línea de tendencia de la metodología transdisciplinar, que prioriza la solución problemática del mundo real (Pohl *et al.*, 2017). Este enfoque se articula con los principios de resiliencia socioecológica (Biggs *et al.*, 2015; Walker *et al.*, 2004), que señalan que la adaptación al cambio climático depende de la capacidad de los sistemas para absorber perturbaciones, reorganizarse y mantener funciones esenciales. (*i.e.* la adaptación de los sistemas socioecológicos costeros al cambio climático).

Esto implica abordar un problema no claramente definido, donde los criterios o formas de determinar los resultados, sólo podrán ser buenos, malos o razonables, a la luz de que siempre existirán estados perfectibles que conduzcan a mejores soluciones (Rittel & Webber, 1973). Es decir, esta investigación se sitúa como un trabajo colaborativo de frontera (“*boundary work*”), donde el conocimiento científico y el no científico se sobreponen, dialogan y se complementan. En este proceso, los programas comunitarios de adaptación, involucran la expansión de diversas áreas de conocimiento que permitirá a los investigadores enriquecer y sentar las bases de mejores propuestas de adaptación (Ber-

kes & Folke, 1998). De este modo, la integración de saberes fortalecerá la resiliencia de los sistemas costeros y contribuirá a nuevas formas de gobernanza adaptativa (Rivera-Arriaga *et al.*, 2019).

Una de las fortalezas de esta propuesta es la incorporación del conocimiento empírico derivado de la investigación previa en los cuatro sitios de estudio. Esta estrategia trasciende la retórica discursiva sobre la adaptación al cambio climático y permite generar programas comunitarios contextualizados para cada sistema socioecológico. De este modo, se genera un puente entre el trabajo de la academia y la práctica de lo “local”, una necesidad que se planteó desde que se analizaron los corredores biológicos como sistemas complejos adaptativos (Castañares, 2008).

Fortalecer la resiliencia comunitaria significa atender la necesidad de ajustar la gestión de los recursos a escalas más locales, donde los factores sociales, económicos, políticos y ambientales determinan la vulnerabilidad de las comunidades (Cardona, 2003; Pillet-Capdepón, 2008; Vidal-Hernández *et al.*, 2021). De este modo, el proyecto pretende atender los vacíos en la gestión costera de México, donde aún predominan enfoques sectorizados limitados, sin un plan de acción climática que permita reducir la exposición y vulnerabilidad de las zonas costeras, enfatizando la necesidad de vincular la conservación, gobernanza y desarrollo comunitario (Rivera-Arriaga *et al.*, 2023).

Finalmente, la experiencia de este proyecto busca fortalecer la resiliencia local de los sistemas socioecológicos costeros, a través de crear aprendizajes y mecanismos de gobernanza adaptativa que puedan replicarse en otros contextos de la península de Yucatán y del país.



Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), con financiamiento del proyecto “GBF-2025-G-642”. Así también el proyecto “Avances de la gobernanza vertical y horizontal en Sistemas Socioecológicos (SSE) costeros

con presencia de pesca ribereña y turismo comunitario en las ANP de Campeche”, de Peña-Puch A. C. que fue apoyado por Secihti con la estancia posdoctoral investigadoras e investigadores por México 2025- 2026 (929608)

Referencias

- Avila-Foucat, V. S., Espejel, I. (Eds.). (2020). Resiliencia de socioecosistemas costeros (Primera). Instituto de Investigaciones Económicas - UNAM. http://www.iiec.unam.mx/sites/www.iiec.unam.mx/files/libros_electronicos/RSC_SAT_0.pdf
- Berkes, F., Folke, C. (Eds.). (1998). Vinculación de sistemas sociológicos y ecológicos: prácticas de gestión y mecanismos sociales para el desarrollo de la resiliencia. Cambridge University Press, Nueva York, EE. UU.
- Biggs, R., Schluter, M., Schoon, M.L. (2015). Principles for Building Resilience Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. Cambridge University Press
- Cardona, A. D. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo “Una crítica y una revisión necesaria para la gestión”. Artículo y ponencia para International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice, 29 y 30 junio 2001, Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre, Wageningen, Holanda. <https://www.desenredando.org/public/articulos/2001/repvuln/RepensarVulnerabilidadRiesgo-1.0.0.pdf>
- Castañares, E. (2008). Segundo informe: análisis de los corredores biológicos como sistemas complejos para establecer su integración táctica y operativa. Corredor Biológico Mesoamericano México. CBMM/UTN/2A/025/2007
- Castañares, E. (2009). Sistemas complejos y gestión ambiental: el caso del Corredor Biológico Mesoamericano México. Serie Conocimientos/Número 6. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitaless/C6SistComp.pdf
- Coronado, E., Salas, S., Cepeda-González, M.F., Chuenpagdee, R. (2020). Who’s who in the value chain for the Mexican octopus fishery: Mapping the production chain. *Marine Policy*, 118: 104013
- Cuttler, S.L., Mitchell, J.T., Scott, M.S. (2000). Reveling the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90: 713-37
- De Vos, A., Biggs, R., Preiser, R., 2019. Methods for understanding social-ecological systems: A review of place-based studies. *Ecology and Society*, 24(4), art16. <https://doi.org/10.5751/ES-11236-240416>
- FAO, (2009). Guía, U. Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres. *Environment*, 39(06), 57053360. FAO. Roma.ISBN 978-92-5-106056-8
- Frodeman, R., Thompson K.J., Pacheco, R. (2017). The Oxford Handbook of Interdisciplinarity. 2nd edition. Oxford University Press. 622p.
- Gobierno de México. (2025-2030). Plan Nacional de Desarrollo (PND). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/981072/PND_2025-2030_v250226_14.pdf
- Ifejika-Speranza, C., Wiesmann, U., Rist, S. (2014). An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social-ecological dynamics. *Global Environmental Change*, 28: 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.005>
- Merçon, J., 2022. Investigación transdisciplinaria e investigación -acción participativa en clave decolonial. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 27 (98): e661474. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6614174>
- Medina-Borges, R.M. (2023). Apuntes sobre ciencia de frontera: ¿Investigar en los bordes?. *MediSur* vol. 21 (1) Cienfuegos ene-feb. Epub 27 Feb 2023
- McGinnis, M. D., Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2): 30. <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Morrow, B.H. (1999). Identifying and mapping community vulnerability. *Disasters* 23,1. doi: 10.1111/1467-7717.00102.
- Palomo, L. E., Hernández-Flores, A. (2019). Application of the Ostrom framework in the analysis of a social-ecological system with multiple resources in a marine protected area. *PeerJ*, 7, e7374. <https://doi.org/10.7717/peerj.7374>
- Paoli-Bolio, F. J. (2019). Multi, inter y transdisciplinarietà. *Problema anuario de filosofía y teoría del derecho*, (13): 347-357.
- Peters, B.G. (2018). The challenge of policy coordination, *Policy Des. Pract.* 1 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/25741292.2018.1437946>.
- Pohl, C., Truffer, B., Hirsch-Hadorn, G. (2017). Addressing Wicked problems through Transdisciplinarity Research. p. 319-331, in: Frodeman, R., Thompson K.J., Pacheco, R. (Eds.), *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*.



- 2th edition. Oxford University Press. 622p.
- Pillet-Capdepón, F. (2008). Las escalas del espacio: desde lo global a lo local. *Scripta Nova, Revista Electrónica de geografía y Ciencias Sociales*, Universitat de Barcelona. Vol 12
- Rittel, H.W., Webber, M.M. (1973). Dilemmas in the general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2): 155-169
- Rivera-Arriaga, E., Azuz-Adeath, I. (2023). La década de los océanos en México 2021-2030: La Ciencia que Necesitamos. RICOMAR, Universidad Autónoma de Campeche. 472 p. doi 10.26359/EPOMEX012023
- Rivera-Arriaga, E., Azuz-Adeath, I., Cervantes Rosas, O. D., Espinoza-Tenorio, A., Silva Casarín, R., Ortega-Rubio, A., Botello A. V., Vega Serratos, B. E. (Eds.). (2019). *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre Tomos 1 y 2. Una Guía para Tomadores de Decisiones*. Universidad Autónoma de Campeche, Ricomar. 878 p.
- Sosa-Ferreira, A.P. (2010). Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la Península de Yucatán. p. 231–261 In Rivera-Arriaga, E., Azuz-Adeath, I., Alpuche-Gual, L., Villalobos-Zapata, G.J., (Eds), *Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino*, Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad, Gobierno del estado de Campeche: Campeche, México.
- Tünnermann, B. C. (2011). El constructivismo y el aprendizaje de los estudiantes. *Universidades* 48,21-32, ISSN: 0041-8935
- Vidal-Hernández, L., de Yta-Castillo, D., Castellanos-Basto, B., Suárez-Castro, M., Rivera-Arriaga, E. (2021). Fiscal Economic Instruments for the Sustainable Management of Natural Resources in Coastal Marine Areas of the Yucatan Peninsula. *Sustainability*, 13: 11103.
- Vidal-Hernández, L., Cuevas-Jiménez, A., de Yta-Castillo, D., Ávila-Foucat V.S., Espejel, I. (2024). Public policy instruments coherence analysis to address coastal risk in Yucatan, Mexico. *Marine Policy*, 167: 106280 Septiembre
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., Kinzig, A. P. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2): art5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>