

Revista Ciencias del Mar UAS



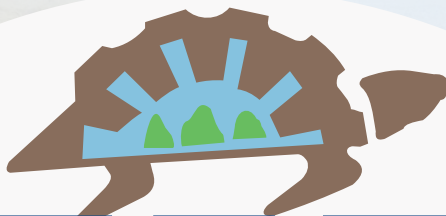
Abril - Junio 2026

Núm. 3 Vol. 3

U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



ISSN 3061-8959



CIMMAR

Revista

DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

Número 3, Volumen 3, ISSN 3061-8959



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA



DIRECTORIO INSTITUCIONAL

- Dr. Jesús Madueña Molina
Rector
- Dra. Nidia Yuniba Brun Corona
Secretaría General Académica
- Dr. Manuel Iván Tostado Ramírez
Vicerrector de la Unidad Regional Sur
- Dra. Marcela de Jesús Vergara Jiménez
Directora General de Investigación y Posgrado
- Dr. Joel Cuadras Urias
Director General del Sistema Bibliotecario
- Dr. José Adán Félix Ortiz
Director Facultad de Ciencias del Mar
- Lic. Nidia Odette Santana Rodelo
Coordinadora de Revistas Académicas Universitarias-UAS

Comité Editorial

Dr. Martín Gabriel Frías Espericueta
Editor en jefe

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega
Editor asociado

L.I. Nerika Azucena Benitez Pardo
Gestora de la Plataforma Editorial

Dr. David Arturo Delgado Esquivel
Corrector de Estilo

T.D.G. Ernesto Alfonso Chávez Aranguré
Diseño gráfico y maquetación

Editores por línea de investigación

Dr. Wenceslao Valenzuela Quiñones, Instituto Politécnico Nacional, México.
Desarrollo de sistemas para la producción sustentable de organismos acuáticos

Dr. Enrique Morales Bojórquez, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. México.
Dr. José Adán Félix Ortiz, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
Aprovechamiento sustentable de recursos pesqueros

Dra. Ofelia Escobar Sánchez, SECIHTI-Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
Dra. Nidia Yuniba Brun Corona, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
Manejo sustentable de ambientes costeros

Comité Científico

Dr. Just Tomas Bayle Sempere
Universidad de Alicante, España

Dr. Diego Lercari Bernier
Universidad de la República, Uruguay

Dr. Álvaro Javier Burgos Arcos
Universidad de Nariño, Colombia

Dr. Rodolfo Vögler
Universidad de la República, Uruguay

Dr. Hugo Arancibia Farías
Universidad de Concepción, Chile

Dr. Andrés Cisneros Montemayor
Simon Fraser University, EUA

Dr. Francisco Arreguín Sánchez
Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR), México

El Consejo Editorial de CIMAR UAS Revista Científica agradece las generosas colaboraciones realizadas por investigadores nacionales e internacionales pertenecientes a reconocidas universidades y centros de investigación que participaron como pares evaluadores.

ISSN 3061-8959

CINTILLO LEGAL

Revista Ciencias del Mar UAS, es una publicación trimestral editada por la universidad Autónoma de Sinaloa, a través de la Facultad de Ciencias del Mar, con el domicilio en Paseo Claussen S/N, Centro, 82000, Mazatlán, Sinaloa, México. Teléfono (669) 9828656. Editor responsable, Martín Gabriel Frías Espericueta. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo Núm. 04-2024-110712440500-102, ISSN: 3061-8959.

Cada artículo es obra original del autor, donde son reflejadas sus ideas y apreciaciones; el Comité Editorial y la Revista "Ciencias del Mar UAS" no se hacen participantes de dicha postura, por lo consiguiente el autor de cada artículo/texto será considerado legalmente responsable. La revista Ciencias del Mar UAS rechaza cualquier reclamación legal proveniente por la reproducción parcial o total de la información, y de plagio en los trabajos publicados.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional del Derecho de Autor.



Cada manuscrito está bajo la licencia Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.



CONTENIDO

EDITORIAL

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Gestión del sargazo en Quintana Roo bajo el Decálogo de Gestión Costera

Sargassum management in Quintana Roo under the Coastal Management Decalogue

7-29

REVISIÓN CIENTÍFICA

La pesca de tilapia en embalses de Sinaloa: hacia un aprovechamiento sustentable.

Tilapia fisheries in Sinaloa reservoirs: toward sustainable exploitation.

30-52

REVISIÓN CIENTÍFICA

Efectos del cobre en la salud humana por consumo de peces marinos.

Effects of copper on human health from consumption of marine fish.

53-64

REVISIÓN CIENTÍFICA

Effects of the presence of plastic debris in the marine environment.

Efectos de la presencia de plásticos en el medio marino.

65-83

REVISIÓN CIENTÍFICA

Residuos sólidos urbanos en ambientes costeros y marinos: clasificación, dinámica y manejo sostenible.

Urban solid waste in coastal and marine environments: classification, dynamics, and sustainable management.

84-103



 Artículo Científico

Gestión del sargazo en Quintana Roo bajo el Decálogo de Gestión Costera

Sargassum management in Quintana Roo under the Coastal Management Decalogue



CREATIVE COMMONS




Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

 1. Linda Rachel Martell - Hernández

 0009-0000-7194-2570

Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, División de Ciencias Multidisciplinarias Cozumel. Quintana Roo, México.

 2. Oscar Frausto - Martínez

 0000-0002-6610-5193

Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, División de Ciencias Multidisciplinarias Cozumel. Quintana Roo, México.

Autor de correspondencia: ofrausto@uqroo.edu.mx



Gestión del sargazo en Quintana Roo bajo el Decálogo de Gestión Costera

Sargassum management in Quintana Roo under the Coastal Management Decalogue

► RESUMEN

Desde hace más de una década, las costas del Caribe mexicano enfrentan un desafío socioecológico sin precedentes debido a los arribos masivos y atípicos de sargazo pelágico (*Sargassum fluitans* y *S. natans*). Este fenómeno, impulsado por el cambio climático y la eutrofización oceánica, ha generado impactos ambientales, económicos y sociales severos en el estado de Quintana Roo. El presente artículo evalúa la gobernanza y las estrategias de mitigación implementadas hasta 2026, utilizando como marco metodológico el decálogo para la Gestión Integrada de Áreas Litorales. El análisis revela avances significativos en la coordinación operativa liderada por la Secretaría de Marina (SEMAR) y en la formulación de la Estrategia Integral para el Manejo y Aprovechamiento del Sargazo (EIMAS). Sin embargo, persisten debilidades estructurales en la fragmentación de las competencias, en la capacitación y en la participación ciudadana. Se concluye que es imperativo transitar de un modelo de gestión de crisis reactivo a un enfoque de Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) basado en la bioeconomía circular, transformando el pasivo ambiental en un activo económico sostenible.

Palabras clave: manejo integrado, aprovechamiento, macroalgas, zona costera, sustentabilidad.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



► ABSTRACT

For over a decade, the coasts of the Mexican Caribbean have faced an unprecedented socio-ecological challenge due to the massive and atypical influxes of pelagic sargassum (*Sargassum fluitans* and *S. natans*). Driven by climate change and oceanic eutrophication, this phenomenon has generated severe environmental, economic, and social impacts in the state of Quintana Roo. This article evaluates the governance and mitigation strategies implemented up to 2026, using the "Decalogue for Integrated Coastal Area Management" proposed by Barragán Muñoz (2014) as a methodological framework. The analysis reveals significant progress in operational coordination, led by the Secretariat of the Navy (SEMAR), and in the formulation of the Comprehensive Strategy for the Management and Use of Sargassum (EIMAS). However, structural weaknesses persist regarding the fragmentation of competencies, training, and citizen participation. It is concluded that transitioning from a reactive crisis management model to an Integrated Coastal Zone Management (ICZM) approach based on a circular bioeconomy is imperative, transforming the environmental liability into a sustainable economic asset.

Keywords: integrated management, valorization, macroalgae, coastal zone, sustainability.

► INTRODUCCIÓN

Desde 2011, y con mayor intensidad a partir de 2014 y 2015, las costas del Caribe mexicano han enfrentado un desafío socioecológico de proporciones históricas: los arribos masivos y atípicos de sargazo pelágico, compuestos principalmente por las especies *Sargassum fluitans* y *S. natans* (Uribe-Martínez et al., 2020). Este fenómeno ha dejado de ser un evento esporádico para consolidarse como una nueva normalidad estacional. Su génesis se atribuye a una combinación de factores globales, entre ellos el cambio climático, la alteración de las corrientes oceánicas y el aumento de nutrientes provenientes de las desembocaduras de grandes ríos (como el Amazonas y el Orinoco) y del



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



polvo del Sáhara, lo que ha dado lugar a la formación del denominado "Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico" (Rodríguez-Martínez et al., 2020).

Un factor determinante en la proliferación del sargazo pelágico es el aporte de nutrientes antropogénicos al océano Atlántico. La descarga excesiva de nitrógeno y fósforo proveniente de actividades agrícolas, aguas residuales urbanas y escorrentía continental ha acelerado la eutrofización de las aguas costeras y oceánicas, favoreciendo el crecimiento masivo de estas macroalgas (Valiela et al., 1997; Ye et al., 2011). Este proceso, combinado con las condiciones oceanográficas y climáticas actuales, explica la magnitud sin precedentes de los eventos registrados en el Atlántico tropical desde la segunda década del siglo XXI.

Los impactos negativos de estos arribazones se manifiestan en tres dimensiones críticas que amenazan la sostenibilidad de la región. En la dimensión ambiental, la acumulación y descomposición del sargazo en la costa generan "mareas marrones" que bloquean la luz solar, agotan el oxígeno disuelto y alteran los ciclos biogeoquímicos, lo que provoca la mortalidad de los pastos marinos y el blanqueamiento de los arrecifes de coral (SEMARNAT, 2021). En la dimensión económica, la pérdida del atractivo escénico de las playas afecta directamente al turismo, un sector que representa más del 80% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal y que, según análisis de Big Data, ha mostrado contracciones reales en la actividad comercial al detalle en destinos como Cancún y la Riviera Maya durante los picos de recale (BBVA Research, 2020). Estudios adicionales documentan pérdidas millonarias en el sector turístico, afectaciones a la cadena de valor pesquera y costos de limpieza que superan los 120 millones de dólares anuales en los momentos de mayor intensidad (Rodríguez-Martínez et al., 2023; Torres-Torres et al., 2022). Finalmente, en la dimensión social, las emanaciones de gases tóxicos, como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el metano (CH_4), representan riesgos para la salud pública y deterioran la calidad de vida de las comunidades costeras y de los trabajadores encargados de la limpieza (SEMARNAT, 2021).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



En respuesta a esta crisis, los diferentes niveles de gobierno, en conjunto con el sector privado, la academia y la sociedad civil, han implementado una serie de medidas que han evolucionado desde la recolección reactiva con maquinaria pesada hasta estrategias más sofisticadas de contención en el mar. Para el año 2026, la Secretaría de Marina (SEMAR) reportó el despliegue de 16 unidades de superficie y 9,500 metros de barreras de contención, habiendo recolectado más de 92,783 toneladas en 2025 y 178.01 toneladas a principios de 2026 (SEMAR, 2026).

El presente documento tiene como objetivo evaluar de manera estructurada y crítica la gestión del sargazo en Quintana Roo. Para ello, se utiliza como marco metodológico el "Decálogo para la Gestión Integrada de Áreas Litorales" propuesto por Barragán Muñoz (2014). Este enfoque permite desglosar la gestión en diez componentes interdependientes y analizar si las acciones actuales cumplen con los principios del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) y los objetivos del Desarrollo Sostenible, garantizando soluciones equilibradas frente a las proyecciones críticas actuales.

2. La gestión costera ante riesgos emergentes

La preocupación por la gestión costera no es reciente, ante el firme interés por el uso de la zona costera y la necesidad de la adopción de un enfoque integrado, la Cumbre de la Tierra en 1992, y específicamente el capítulo 17 de la Agenda 21, se constituyó en un parteaguas en la historia del desarrollo sostenible costero, al conceptualizar y trazar un camino hacia el Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) (Basraoui et al., 2011).

Las zonas costeras se distinguen por áreas en las que se compite por condiciones y recursos naturales evidentemente limitados, así como por una gran diversidad de actividades socioeconómicas. En este contexto, se han venido desarrollando y se utilizan actualmente, de forma paralela, varios modelos conceptuales-metodológicos y de aplicación del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC), en los que la gestión del litoral, a través del decálogo para la gestión integrada, se singulariza por su atención a los problemas emergentes (Vázquez-Sosa et al., 2020). En México, la Política Nacional de Mares y Costas, se establece



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



mediante la creación de la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas en 2008 y su ratificación en 2015 (DOF, 2018). En 2018 se crea el acuerdo mediante el cual se define dicha política que señala la urgencia de fortalecer la integración de la política de manejo de las costas y mares, promover oportunidades económicas, fomentar la competitividad, la coordinación y el enfrentamiento de los efectos del cambio climático, así como proteger los bienes y servicios ambientales. Estos aspectos ya eran señalados en el Plan Nacional de Desarrollo 2012 – 2018, que destacaba la identificación de 19 indicadores para las 17 estrategias y los tres objetivos centrales de la política (Frausto, 2020), en el que la atención a los problemas de la gestión costera será una prioridad. Finalmente, con la emisión de la Política de costas del Estado de Quintana Roo de 2022, se señala como problema prioritario el sargazo (Chargoy-Rosas et al., 2024), lo que da pie a una serie de acciones que se analizarán a continuación.

2.1 El Decálogo como marco teórico de la gestión integrada

El Decálogo para la Gestión Integrada de Áreas Litorales, desarrollado por Barragán Muñoz (2014), constituye el marco teórico central del presente trabajo. Este modelo propone diez elementos interdependientes que, en conjunto, permiten diagnosticar la madurez y la coherencia de cualquier sistema de gobernanza costera. Su valor analítico radica en que no aborda cada dimensión de manera aislada, sino que reconoce las relaciones causales y los efectos en cadena entre sus componentes: una política ambiciosa sin normativa habilitante es ineficaz; una normativa sin instituciones competentes y recursos suficientes se convierte en letra muerta y los instrumentos operativos requieren conocimiento científico actualizado y personal capacitado para funcionar adecuadamente. Los diez elementos del decálogo se agrupan en tres grandes bloques: (1) el bloque político-normativo, que comprende la política, la normativa y las competencias; (2) el bloque institucional-instrumental, que incluye las instituciones, los instrumentos y los recursos; (3) el bloque de capital humano y social, que se compone de conocimiento e información, formación y capacitación, educación y concienciación, así como de participación ciudadana. Esta estructura sistémica hace del decálogo una



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



plataforma idónea para evaluar fenómenos complejos y emergentes de gestión costera (como la expansión territorial del turismo o la transformación antrópica de la costa en el Caribe mexicano), así como el que se presenta con los arribazones de sargazo en el Caribe mexicano.

En el contexto del MIZC, el decálogo se alinea con principios fundamentales reconocidos internacionalmente, tales como la integración vertical (entre niveles de gobierno) y horizontal (entre sectores), la adaptabilidad al cambio, la participación informada de los actores sociales y el uso de la mejor ciencia disponible para la toma de decisiones (Enriquez-Díaz et al., 2020). Aplicar este marco al caso del sargazo en Quintana Roo permite identificar con precisión los eslabones débiles del sistema de gobernanza y las áreas de oportunidad para transitar hacia un modelo de gestión preventivo y basado en la bioeconomía circular.

▶ MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la gobernanza en la gestión del sargazo se realiza un análisis estratégico a partir del "Decálogo para la Gestión Integrada de Áreas Litorales", fundamentado en los principios de Barragán Muñoz (2014). Cada uno de los diez componentes del decálogo se evalúa mediante los siguientes criterios: Primero. Existencia de instrumentos formales (políticas, leyes, planes y programas) Segundo. Operatividad real de dichos instrumentos (evidencia de implementación y resultados). Tercero. Integración entre actores y niveles de gobierno y (d) presencia de mecanismos de monitoreo, retroalimentación y mejora continua.

Las fuentes de información utilizadas son de naturaleza institucional y documental e incluyen documentos de política pública y comunicados oficiales de la SEMAR, SEMARNAT y SEMA, publicaciones científicas, informes técnicos de organismos como CINVESTAV, CONABIO y UNAM, el *Sargassum Information Hub*, así como normativas federales y estatales disponibles en el Diario Oficial de la Federación (DOF). El análisis combina la revisión documental con el análisis crítico del discurso de los documentos institucionales siguiendo los principios de Arenas -Granados (2012), lo que permite identificar tanto los avances explícitos como las brechas implícitas en el sistema de gobernanza costera.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

Para la síntesis y presentación de los resultados se elaboró una matriz (ver tabla 3 en la sección de resultados) que resume, para cada componente del decálogo, el estado actual (avances concretos hasta 2026), las brechas identificadas y las áreas de oportunidad. Esta matriz permite una lectura sistémica del fenómeno y facilita la identificación de prioridades de gestión. Los diez componentes se presentan en la figura 1.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



▶ RESULTADOS

Análisis de la gestión del sargazo a través del Decálogo

A continuación, se presenta el análisis del estado actual de la gestión del sargazo en Quintana Roo (al año 2025), desglosado en los diez principios del decálogo. Cada componente se evalúa considerando su nivel de desarrollo normativo, institucional y operativo, así como las principales brechas identificadas.

4.1 Política y Estrategia.

El estado de Quintana Roo ha pasado de una respuesta de emergencia inicial a la formulación de políticas públicas más estructuradas. Destaca la "Estrategia Integral para el Manejo y Aprovechamiento del Sargazo" (EIMAS), coordinada por la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) del estado, que busca mitigar el impacto ambiental, social y económico de manera coordinada y medible (Gobierno de Quintana Roo, 2023a). A nivel federal, la "Operación Sargazo", liderada desde 2019 por la SEMAR, ha marcado un hito al centralizar la logística de contención y recolección en el mar (SEMAR, 2026). Adicionalmente, la SEMARNAT ha emitido lineamientos técnicos que orientan las acciones de manejo, mientras que la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) ha implementado protocolos de atención al sargazo en áreas protegidas costeras para salvaguardar ecosistemas críticos, como los arrecifes y las playas de anidación de tortugas. Organizaciones de la sociedad civil, como el Consorcio para la Conservación del Caribe, han contribuido mediante el monitoreo comunitario y acciones de incidencia en materia de políticas públicas.

Sin embargo, desde la perspectiva del MIZC, la política sigue siendo predominantemente reactiva, enfocada en "mantener limpias las playas" para proteger la industria turística, y enfrenta el reto de consolidar una visión a largo plazo y de sostenibilidad que trascienda los ciclos políticos. La gobernanza para la gestión del sargazo requiere una articulación más robusta entre los instrumentos de política ambiental, económica y social.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



4.2 Normativa

El avance normativo más significativo ha sido la emisión y actualización de los "Lineamientos Técnicos y de Gestión para la Atención de la Contingencia Ocasionada por Sargazo en el Caribe Mexicano y el Golfo de México" por parte de la SEMARNAT (2021). Estos lineamientos establecen especificaciones para la recolección en mar abierto, la contención mediante barreras, la remoción en playas (prohibiendo el uso de maquinaria pesada que compacte la arena o afecte la anidación de tortugas) y la disposición final. Asimismo, la clasificación del sargazo como "Residuo de Manejo Especial" obliga, de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), a un tratamiento diferenciado.

Sin embargo, el marco normativo no se agota en estos lineamientos. Otros instrumentos legales relevantes incluyen la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que regula el uso y conservación de la zona federal marítimo terrestre, la Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT sobre protección de especies en riesgo, aplicable a las playas de anidación afectadas y los programas de manejo de áreas naturales protegidas colindantes con las zonas de mayor impacto. No obstante, la normativa específica para incentivar el aprovechamiento industrial y la comercialización de subproductos aún es incipiente e insegura, lo que genera vacíos legales para los emprendedores y frena el desarrollo de la bioeconomía circular. La ausencia de un marco fiscal que otorgue incentivos tributarios a las empresas que valoricen el sargazo constituye una brecha normativa crítica.

4.3 Competencias

La gestión del sargazo adolece de una distribución de competencias compleja y, a veces, fragmentada. La tabla 1 sintetiza las responsabilidades de los principales actores por nivel de gobierno.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Tabla 1. Distribución de competencias en la gestión del sargazo por nivel de gobierno.

Nivel de Gobierno	Actor Principal	Ambito de Competencia
Federal	SEMAR	Recolección en altamar, aguas someras y operación de buques sargaceros; coordinación logística nacional (Operación Sargazo)
Federal	SEMARNAT	Emisión de lineamientos técnicos de manejo; clasificación y regulación de residuos; supervisión ambiental
Federal	CONANP	Atención al sargazo en Áreas Naturales Protegidas costeras; protocolos de protección de especies
Estatal	SEMA Quintana Roo	Coordinación de acciones en tierra; implementación de la EIMAS; gestión de financiamiento estatal
Municipal	ZOFEMAT / Ayuntamientos	Limpieza de playas públicas; gestión de la Zona Federal Marítimo Terrestre; cobro del Derecho de Saneamiento Ambiental
Privado	Sector hotelero / Empresas	Gestión y limpieza de frentes de playa concesionados; inversión en tecnologías de aprovechamiento

Fuente: elaboración propia.

Esta fragmentación genera “zonas grises”, especialmente en playas no concesionadas, lo que evidencia fallas en la integración vertical y horizontal que exige el MIZC (Enriquez- Díaz et al., 2020). La coordinación intergubernamental es funcional en situaciones de emergencia, pero insuficiente para la planificación estratégica a largo plazo.

4.4 Instituciones

Existe un ecosistema institucional diverso en torno a la gestión del sargazo. La tabla 2 presenta las principales instituciones y sus funciones específicas en este ámbito.

Tabla 2. Principales instituciones y sus funciones en la gestión del sargazo en Quintana Roo.

Institución	Función en la gestión del sargazo
SEMAR	Liderazgo operativo: despliegue de buques, barreras de contención y coordinación de la Operación Sargazo
SEMA Quintana Roo	Coordinación estatal de la EIMAS; vinculación entre gobierno estatal y sociedad civil
SEMARNAT	Marco normativo y supervisión ambiental; coordinación del SIMSAR
SECIHTI / UNAM	Investigación básica y aplicada; sistemas de monitoreo satelital (SIMAR, LANOT); ciencia ciudadana
CINVESTAV	Caracterización bioquímica del sargazo; investigación en procesos de valorización
CICY	Investigación en biotecnología aplicada al aprovechamiento del sargazo
CONSEJO TÉCNICO ASESOR SOBRE SARGAZO	Unificación de criterios técnicos y asesoría al gobierno estatal
SECTOR HOTELERO (AHMTUR)	Inversión privada en contención y limpieza; presión política para la acción gubernamental
OSC Y ASOCIACIONES CIVILES	Monitoreo comunitario, educación ambiental y abogacía en política pública

Fuente: elaboración propia.



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



La fortaleza radica en la diversidad de capacidades institucionales, la debilidad es la ausencia de un organismo rector único, autónomo y con presupuesto blindado que dirija la gobernanza de manera vinculante, evitando la duplicidad de funciones y las brechas de coordinación.

4.5 Instrumentos

Se han desplegado los siguientes instrumentos técnicos y operativos principales:

- Monitoreo y alerta temprana: Sistemas satelitales como el SIMSAR de CONABIO y el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) de la UNAM permiten prever las trayectorias (*sargassum hub.s.f.*). El sistema de pronóstico ha mejorado su resolución temporal y espacial, pasando de alertas semanales a diarias.
- Contención y recolección: Para 2026, la SEMAR mantiene 16 unidades de superficie (incluyendo buques sargaceros oceánicos y costeros) y 9,500 metros de barreras con proyección de ampliación (SEMAR, 2026).
- Valorización: Destaca el anuncio de la creación del Centro Integral de Saneamiento y Economía Circular del Sargazo por parte del gobierno estatal, con el objetivo de convertir los pasivos ambientales en activos económicos (Gobierno de Quintana Roo, 2023b). Sin embargo, a la fecha no existen resultados formalmente difundidos por las autoridades gubernamentales sobre la operación de dicho centro.

4.6 Recursos

La gestión es financieramente exhaustiva; el costo anual de atención representa una carga significativa para el PIB local. Los recursos provienen de presupuestos federales (SEMAR), estatales y municipales (a través del cobro del Derecho de Saneamiento Ambiental a turistas), así como de una fuerte inversión privada. A pesar de recolectar 92,783 toneladas en 2025 (SEMAR, 2026), los recursos suelen resultar insuficientes frente a la magnitud de los arribos. La falta de un fondo fiduciario permanente y autosostenible dificulta la planificación a largo plazo y somete la gestión a la volatilidad presupuestaria propia de los ciclos políticos.

4.7 Conocimiento e Información

La base científica sobre el sargazo en el Caribe mexicano ha crecido exponencialmente en la última década. Investigaciones del Cinvestav han



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



caracterizado la composición bioquímica del sargazo, identificando compuestos de alto valor (alginatos, fucoidano, manitol), pero también advirtiendo sobre la alta concentración de metales pesados como el arsénico, lo que condiciona su uso en la industria alimentaria o agrícola (CINVESTAV, 2021). El sistema de Monitoreo de Sargazo Recolectado (SIMSAR) centraliza los datos de campo para la toma de decisiones operativas.

En términos de conocimiento del medio marino- costero, Quintana Roo cuenta con una base de información relativamente robusta: existen diagnósticos del estado de los arrecifes de coral (Programa de Monitoreo Arrecifal del Caribe Mexicano), cartografía de los pastos marinos y de la distribución espacial de los arribos de sargazo, datos oceanográficos continuos provenientes de boyas y satélites y estudios de zonificación costera en el marco del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe. Sin embargo, persisten vacíos importantes: la información sobre los impactos acumulativos del sargazo en la salud humana y en la economía pesquera artesanal es escasa, la integración de datos en plataformas de acceso público es limitada y la planificación espacial costera no incorpora de manera sistemática los escenarios de proyección de sargazo para los próximos decenios. El reto central es acelerar la transferencia del conocimiento científico hacia políticas adaptativas, ágiles y basadas en evidencia.

4.8 Formación y Capacitación

Estos elementos constituyen uno de los eslabones más débiles del sistema de gobernanza. Si bien la SEMAR capacita a su personal naval en técnicas de recolección y manejo de maquinaria especializada, existe un déficit significativo en la formación sistemática de trabajadores municipales y brigadistas temporales en técnicas de limpieza de bajo impacto ambiental (para evitar la erosión costera). Asimismo, falta capacitación técnica para emprendedores locales en los procesos biotecnológicos necesarios para la valorización segura del alga.

En el ámbito de la educación superior, universidades como la Universidad del Caribe (UNICARIBE), el Tecnológico de Monterrey Campus Cancún y la UNAM han incorporado contenidos sobre gestión costera y aprovechamiento del sargazo en posgrados y cursos de especialización, aunque sin la articulación necesaria con los sectores público y privado para formar profesionistas especializados. Las líneas de capacitación de los



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



tomadores de decisiones a nivel municipal y estatal se concentran en la respuesta operativa inmediata, con escasa atención a la planificación estratégica a largo plazo, a la bioeconomía circular y a la gestión adaptativa basada en evidencia. Superar este déficit requiere programas de formación, certificaciones en manejo costero integrado y alianzas universidad-gobierno-empresa para la transferencia tecnológica.

4.9 Educación y Concienciación

La narrativa pública ha estado dominada por la visión del sargazo como una "plaga" o un "desastre". Sin embargo, iniciativas recientes buscan cambiar esta percepción. La UNAM, a través de sus programas de ciencia ciudadana, educa a la población sobre el origen global del fenómeno y el potencial del sargazo como recurso (UNAM, 2023). La SEMARNAT ha impulsado campañas de educación ambiental dirigidas a comunidades costeras sobre el manejo adecuado del sargazo y la importancia de evitar prácticas dañinas como la quena o el entierro del sargazo. La CONANP desarrolla programas de sensibilización en las zonas de amortiguamiento de las áreas naturales protegidas, orientados a proteger la biodiversidad asociada a los ecosistemas costeros afectados. Organizaciones de la sociedad civil, como el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), han promovido la difusión de información científica y el diálogo entre actores para una gobernanza más informada y participativa.

Es imperativo avanzar hacia campañas interinstitucionales que fomenten la corresponsabilidad, la comprensión de la bioeconomía y el cambio de narrativa: del sargazo como problema al sargazo como oportunidad de desarrollo sostenible.

4.10 Participación

La participación es activa pero asimétrica. El sector hotelero y la comunidad científica tienen una gran incidencia en la toma de decisiones. No obstante, la inclusión de comunidades locales, pescadores y ciudadanos no vinculados directamente a las cúpulas turísticas es limitada. El enfoque de ciencia ciudadana ha demostrado ser útil para integrar el conocimiento local (monitoreo de "última milla"), pero requiere mayor formalización para asegurar que los costos y beneficios de la gestión se distribuyan de manera equitativa (UNAM, 2023). La consolidación de mecanismos formales de consulta y de participación ciudadana que incluyan a las comunidades pesqueras es una deuda pendiente del sistema de gobernanza.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Finalmente, la tabla 3 sintetiza los componentes del decálogo MINZ para la gobernanza del sargazo en el Caribe mexicano.

Tabla 3. Síntesis de la Evaluación de la Gestión del Sargazo bajo el Decálogo de MIZC

Componente del Decálogo	Estado Actual (2025)	Brechas / Áreas de Oportunidad
1. Política y estrategia	EIMAS y Operación Sargazo (SEMAR) activas. Participación de SEMARNAT, CONANP y OSC.	Transitar de un enfoque reactivo a uno preventivo y consolidar la visión de la economía circular a largo plazo.
2. Normativa	Lineamientos de la SEMARNAT (2021); catalogado como Residuo de Manejo Especial. LGEEPA y NOM-059 como instrumentos complementarios.	Falta de un marco regulatorio específico que incentive y regule la industrialización y la comercialización.
3. Competencias	División por niveles de gobierno establecida (Tabla 2) pero fragmentada dando paso a "zonas grises".	Eliminar las "zonas grises" en las playas no concesionadas; mejorar la integración intergubernamental.
4. Instituciones	SEMAR, SEMA, SEMARNAT, CONANP, centros de investigación (UNAM, Cinvestav, CICY) activos (Tabla 3).	Ausencia de un ente rector único, autónomo y con presupuesto blindado.
5. Instrumentos	Uso de buques sargaceros , barreras, monitoreo satelital (SIMAR). Creación de un Centro de Economía Circular.	Escalar las tecnologías de valorización (biogás, biomateriales) a escala industrial. Ejecutar el Plan de Acción del Centro Integral de Saneamiento y Economía Circular del Sargazo
6. Recursos	Alta inversión pública y privada; cobro del derecho de saneamiento ambiental.	Financiamiento volátil; necesidad de un fondo fiduciario permanente e independiente del ciclo político.
7. Conocimiento	Caracterización bioquímica avanzada (arsénico, alginatos); sistemas predictivos (Cinvestav), SIMSAR cartografía y diagnósticos costeros disponibles.	Acelerar la transferencia de tecnología del laboratorio al mercado, llenar vacíos en salud humana y pesca artesanal.
8. Formación	Capacitación técnica concentrada en las fuerzas armadas.	Déficit en la capacitación de brigadistas municipales, tomadores de decisiones estratégicas y emprendedores locales.
9. Educación	Información centrada en las afectaciones turísticas, las campañas de la UNAM, SEMARNAT, CONANP y OSC.	Cambiar la narrativa de "plaga" a "recurso" mediante la educación ambiental; desarrollar una campaña interinstitucional sostenida basada en la ciencia.
10. Participación	Con una alta participación de los sectores hotelero y académico, la ciencia ciudadana está en desarrollo.	Integrar a las comunidades pesqueras y locales mediante la ciencia ciudadana; formalizar mecanismos de consulta equitativos.

Fuente: elaboración propia.



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



► DISCUSIÓN

Los hallazgos de este análisis, a la luz del marco teórico de Barragán Muñoz (2014) y los principios fundamentales del MIZC —integración vertical y horizontal, adaptabilidad, participación informada, enfoque ecosistémico, precaución y uso de la mejor ciencia disponible—, invitan a una reflexión profunda sobre la trayectoria de la gestión costera en el Caribe mexicano. El fenómeno del sargazo no es una crisis pasajera, sino una característica permanente del ecosistema regional, exacerbada por dinámicas antropogénicas globales (Rodríguez-Martínez et al., 2020); por lo tanto, las soluciones puramente paliativas resultan ineficientes e insostenibles.

El principal desafío identificado es la transición de un modelo de "gestión de crisis" (recolectar y desechar) a uno de "gestión de recursos" (bioeconomía circular). Las proyecciones de arribos récord y los volúmenes históricos (más de 92,000 toneladas en 2025) subrayan la insostenibilidad financiera y logística del enfoque actual (SEMAR, 2026). La ciencia ha demostrado que el sargazo posee compuestos bioactivos útiles para las industrias farmacéutica, cosmética y agrícola, además de tener potencial para la producción de biogás y de materiales de construcción, como el "Sargapanel" o la madera plástica (TecScience, s.f.). Sin embargo, la presencia de metales pesados, como el arsénico, exige procesos rigurosos de despolimerización y refinamiento tecnológico (Cinvestav, 2021).

Un aspecto crítico que el presente análisis identifica como insuficientemente abordado en la gestión actual es la aplicación del principio precautorio. Más allá de la respuesta reactiva a los arribos, la gestión integrada del sargazo exige una visión de cuenca que considere las fuentes terrestres del problema. Las medidas de mitigación del aporte de nutrientes desde las cuencas hidrográficas continentales —como la reducción de escorrentías agrícolas ricas en nitrógeno y fósforo, el tratamiento de aguas residuales y la restauración de humedales costeros como filtros naturales— son componentes esenciales de una estrategia integral que actúe sobre las causas profundas y no solo sobre los síntomas del problema (Valiela et al., 1997; Ye et al., 2011). Esta



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



dimensión precautoria y preventiva está prácticamente ausente en los instrumentos de política analizados.

En términos de la contribución metodológica del presente trabajo, la aplicación del decálogo de Barragán Muñoz (2014) al caso del sargazo demuestra su utilidad como herramienta de diagnóstico para fenómenos de gestión costera emergentes, complejos y multi-escala. A diferencia de análisis previos centrados en un único componente (normativo, institucional o económico), el enfoque sistémico adoptado permite identificar las interacciones entre componentes y los cuellos de botella que obstaculizan la transición hacia el MIZC.

Comparativamente, regiones con problemáticas similares ofrecen lecciones valiosas. Barbados y Jamaica han avanzado más en la regulación del aprovechamiento industrial del sargazo, estableciendo marcos de incentivos fiscales para las empresas procesadoras. El estado de Florida, en Estados Unidos, ha implementado fondos fiduciarios permanentes para el monitoreo y la gestión de las macroalgas. Guyana Francesa ha desarrollado cooperación científica transfronteriza para el modelado predictivo de arribo. Quintana Roo, con su mayor capacidad institucional y presupuestaria relativa, tiene el potencial de convertirse en un referente regional, pero requiere consolidar los eslabones débiles identificados.

Si se aplica una valoración indicativa del sistema de gobernanza según los criterios del decálogo —considerando una escala del 1 (muy deficiente) al 5 (óptimo)—, los componentes mejor calificados son los Instrumentos (3.5/5) y el Conocimiento (3.5/5), mientras que los más débiles son la Formación (2.0/5) y la Participación social equitativa (2.0/5). La Normativa y el Financiamiento obtienen una calificación intermedia (2.5/5), reflejo de avances reales pero insuficientes. Esta evaluación indica que el sistema se encuentra en una etapa de "gestión costera en desarrollo", con fortalezas operativas claras, pero aún no ha alcanzado la plena integración que caracteriza a un MIZC maduro.

La evaluación sistémica muestra que, si bien la dimensión económica (protección del turismo) ha catalizado la acción gubernamental, la integración de las dimensiones ambiental y social aún es incompleta. La gestión no opera plenamente como un proceso iterativo y adaptativo, tal



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



como lo propone el MIZC (Enríquez-Díaz et al., 2020). Para superar esto, la creación del Centro Integral de Saneamiento y Economía Circular del Sargazo (Gobierno de Quintana Roo, 2023b) representa un paso en la dirección correcta, pero requerirá que los eslabones más débiles del decálogo—la normativa industrial, la formación de capacidades locales y el financiamiento permanente—se fortalezcan.

► CONCLUSIONES

La evaluación de la gestión del sargazo en Quintana Roo bajo el Decálogo de Gestión Costera revela un sistema complejo y en rápida evolución, con fortalezas operativas notablemente individualizadas, pero con debilidades estructurales significativas. Entre los avances más destacados se encuentran el establecimiento de una estrategia nacional con un liderazgo operativo claro por parte de la SEMAR, el desarrollo de un marco normativo básico (Lineamientos 2021) y la movilización de una vasta infraestructura operativa, tecnológica y científica.

No obstante, el sistema aún no alcanza la articulación ni la plena madurez de un Manejo Integrado de Zonas Costeras. Las brechas en el modelo se concentran en la fragmentación de competencias intergubernamentales, la falta de un modelo de financiamiento a largo plazo que no dependa de la coyuntura política, y un déficit crítico en la formación de capacidades a nivel municipal y comunitario. Asimismo, la participación social debe ampliarse más allá de las cúpulas empresariales del sector turístico.

Para garantizar la resiliencia del Caribe mexicano se formulan las siguientes recomendaciones prioritarias: (1) consolidar una gobernanza intersectorial permanente mediante la creación de un organismo rector autónomo con presupuesto blindado, (2) desarrollar un marco específico que incentive fiscal y normativamente la economía circular para la industrialización segura del sargazo, (3) implementar el principio precautorio mediante medidas de gestión de cuenca que reduzcan el aporte de nutrientes de origen terrestre; (4) fortalecer la formación de brigadistas, funcionarios municipales y emprendedores locales; (5) promover y asegurar la cooperación internacional transfronteriza,



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



especialmente con los países del Caribe insular; y (6) desarrollar campañas de educación ambiental interinstitucionales que transformen la narrativa pública sobre el sargazo.

El sargazo representa un desafío existencial para el modelo turístico tradicional, la economía local y los sectores asociados a la costa, pero, al mismo tiempo, ofrece una oportunidad catalizadora para transitar hacia un desarrollo regional diversificado, resiliente y verdaderamente sostenible. La transición del sargazo de pasivo ambiental a activo económico es posible, pero exige voluntad política, inversión en ciencia y tecnología, y la construcción de un sistema de gobernanza costera verdaderamente integrado.

▶ AGRADECIMIENTOS

Se agradece al programa de becas nacionales de posgrado de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) la beca de estudios doctorales en desarrollo sostenible otorgada a la Mtra. Linda Rachel Martell Hernández.

▶ LITERATURA CITADA

Arenas-Granados, P. (2012). Manejo Costero Integrado y Sustentabilidad en Iberoamérica: Un análisis propositivo de políticas públicas en las dos caras atlánticas: España, Portugal, Colombia y Panamá. Editorial Académica Española. https://hum117.uca.es/wp-content/uploads/2018/10/Arenas_2012_MCI_y_Sustentabilidad_en_Iberoamerica.pdf

Barragán Muñoz, J. M. (2014). Política, gestión y litoral: Nueva visión de la gestión integrada de áreas litorales. Editorial Tébar Flores. https://hum117.uca.es/wp-content/uploads/2018/10/2014_barragan_politicagestionylitoral.pdf



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Basraoui, Y., Chafi, A., Zarhloule, Y., & Demnati, S. 2011.** An integrated coastal zone management initiative for the sensitive coastal wetland on both sides of the Moulouya Estuary in Morocco. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19: 520-525
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811012791>
- BBVA Research. (2020).** El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México. Documento de trabajo 20/02.
https://www.bbva-research.com/wp-content/uploads/2020/02/Riesgo_Sargazo_Big_Data.pdf
- Chargoy-Rosas, M., Frausto-Martínez, O. & Cabrera-Hernández, J.A. (2024).** Integrated coastal management in emerging tourist destinations on the Mexican Caribbean coast. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 263, 243-255.
<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/263/38564>
- CINVESTAV. (2021).** Analizan las propiedades del sargazo para su manejo adecuado y aprovechamiento. *Conexión Cinvestav*.
<https://conexion.cinvestav.mx/academia/Sin-Fronteras/ArtMID/404/ArticleID/5104/Analizan-propiedades-del-sargazo-para-su-manejo-adecuado-y-aprovechamiento>
- DOF. (2018).** ACUERDO por el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México. *Diario Oficial de la Federación. Gobierno de la República*.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545511&fecha=30/11/2018&print=true
- Enríquez-Díaz, M., Martínez-López, M., & Vilchis-Onofre, M. A. (2020).** Una aproximación sistémica al manejo costero integrado en playas turísticas de México. *El Periplo Sustentable*, (38), 138-169.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252020000100138



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Frausto, O. (2020). Experiencias sobre la gestión sustentable de las costas y playas de isla Cozumel, México. En: Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, O. D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. Ortega-Rubio, A. V. Botello y B. E. Vega-Serratos (eds.). *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones.* Universidad Autónoma de Campeche, RICOMAR.

Gobierno de Quintana Roo. (2023a). Presentan Estrategia Integral para el Manejo y Aprovechamiento del Sargazo en Quintana Roo. Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA). <https://sargazo2023.semaqroo.gob.mx/presentan-estrategia-integral-para-el-manejo-y-aprovechamiento-del-sargazo-en-quintana-roo/>

Gobierno de Quintana Roo. (2023b). Anuncia Mara Lezama creación del Centro Integral de Saneamiento y Economía Circular del Sargazo, que convertirá pasivos en activos. <https://qroo.gob.mx/anuncia-mara-lezama-creacion-del-centro-integral-de-saneamiento-y-economia-circular-del-sargazo-que-convertira-pasivos-en-activos/>

Langin, K. (2018). Seaweed masses assault Caribbean islands. *Science*, 360 (6 3 9 4) , 1 1 5 7 – 1 1 5 8 . <https://doi.org/10.1126/science.360.6394.1157>

Milledge, J. J., & Harvey, P. J. (2016). Golden tides: Problem or golden opportunity? The valorisation of Sargassum from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(3), 60. <https://doi.org/10.3390/jmse4030060>

Oviatt, C. A., Huizenga, K., Rogers, C. S., & Miller, W. J. (2019). What nutrient source fuels pelagic Sargassum on the way to the Gulf of Mexico? *Progress in Oceanography*, 175, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.04.004>

Rodríguez-Martínez, R. E., Roy, P. D., Torres-Varbela, A., & van Tussenbroek, B. I. (2020). Cooperación en el Caribe ante el sargazo. *Revista Ciencia AMC*, 71(4), 63-71. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71_4/PDF/13_71_4_1288_Sargazo_Cooperacion.pdf



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., & Jordán-Dahlgren, E. (2023). Impacts of stranded pelagic Sargassum on the Mexican Caribbean coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 281, 108209. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108209>

Sargassum Information Hub. (s.f.). Mexico - Ongoing efforts. Recuperado de <https://sargassumhub.org/mexico/>

Secretaría de Marina [SEMAR]. (2026, 21 de enero). Marina, en coordinación con el Gobierno del estado de Quintana Roo, continúa con la contención del sargazo para mantener las playas limpias. Comunicado de Prensa. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semar/prensa/marina-en-coordinacion-con-el-gobierno-del-estado-de-quintana-roo-continua-la-contencion-del-sargazo-para-mantener-playas-limpias>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2021). Lineamientos Técnicos y de Gestión para la Atención de la Contingencia Ocasionada por Sargazo en el Caribe Mexicano y el Golfo de México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/636709/SEMARNAT-INECC-SARGAZO-2021.pdf>

TecScience. (s.f.). La ciencia vs. el sargazo: cómo transformar un problema en oportunidades sostenibles. Tecnológico de Monterrey. <https://tecscience.tec.mx/es/transformacion-industrial/sargazo/>

Torres-Torres, M., Acosta, M., & Solís-Zozoya, E. (2022). Economic impacts of pelagic sargassum on the Mexican Caribbean coast: A cost-benefit analysis. *Ocean & Coastal Management*, 226, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106257>

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (2023). El manejo del sargazo en la península de Yucatán, México, hacia la conservación marina y el desarrollo regional. Informe de Políticas 1. https://yucatan.unam.mx/wp-content/uploads/2023/06/Policy-brief-1_BSSMX-Spanish.pdf



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Uribe-Martínez, A., Guzmán-Ramírez, A., Arreguín-Sánchez, F., & Cuevas, E. (2020).** El sargazo en el Caribe mexicano, revisión de una historia impensable. En *gobernanza y manejo de las costas y mares ante la incertidumbre. Una guía para tomadores de decisiones* (pp. 743-762). Universidad Autónoma de Campeche. https://www.researchgate.net/publication/339800164_El_sargazo_en_el_Caribe_mexicano_revision_de_una_historia_impensable
- Valiela, I., Foreman, K., LaMontagne, M., Hersh, D., Costa, J., Peckol, P., ... Geyer, W. (1997).** Couplings of watersheds and coastal waters: Sources and consequences of nutrient enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts. *Estuaries*, 15(4), 443–457. <https://doi.org/10.2307/1352389>
- Vázquez Sosa, A., Frausto Martínez, O., Cabrera Hernández, J. (2020).** Models of Integrated Coastal Zone Management: comparative analysis and adoption proposal in the case of Akumal (Mexico). *Revista Costas*, 2(1): 25-50. <https://revistas.uca.es/index.php/costas/article/view/8938/8985>
- Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. (2019).** The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 365(6448), 83–87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>
- Ye, F., Huang, X., Zhang, D., Tian, L., & Zeng, Y. (2011).** Distribution of heavy metals in sediments of the Pearl River Estuary, Southern China: Implications for sources and historical changes. *Journal of Environmental Sciences*, 23(9), 1470–1478. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60585-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60585-9)



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Revisión Científica

La pesca de tilapia en embalses de Sinaloa: hacia un aprovechamiento sustentable


Tilapia fisheries in Sinaloa reservoirs: toward sustainable exploitation





CREATIVE COMMONS



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

 1. Yanira Leyva Vázquez
 0000-0002-8957-905X

Estancia Posdoctoral SECIHTI Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.
Autor de correspondencia: yanira_facimar@uas.edu.mx

 2. Ehecatl Manuel Muñoz Mejía
 0009-0003-7354-2476

Centro Regional de Investigación en Acuicultura y Pesca, Instituto Mexicano de Investigación Pesquera y Acuicola, Mazatlán, Sinaloa México.

 3. María Isabel Zatarain Alvarado
 0009-0002-3671-0752



Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 4. Mercedes Marlene Manzano Sarabia
 0000-0002-3466-9592

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 5. Marcelino Ruíz Domínguez
 0000-0001-9632-8008

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 6. Jorge Saul Ramírez Pérez
 0000-0002-3994-424X

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

Recibido 26 de abril 2026

Aceptado 21 de mayo 2026



La pesca de tilapia en embalses de Sinaloa: hacia un aprovechamiento sustentable

Tilapia fisheries in Sinaloa reservoirs: toward sustainable exploitation

▶ RESUMEN

La pesca en embalses mexicanos ha adquirido una creciente relevancia como fuente de alimento, empleo y sustento para comunidades rurales; sin embargo, enfrenta limitaciones asociadas a la disponibilidad de información y la aplicación de esquemas de manejo generalizados. El presente trabajo analiza la importancia de la pesquería de tilapia (*Oreochromis* spp.) en embalses de Sinaloa e identifica los principales retos para avanzar hacia un aprovechamiento sustentable. Sinaloa se ubica entre los principales estados productores de tilapia en México, destacando los embalses Miguel Hidalgo y Costilla, Josefa Ortiz de Domínguez y Guillermo Blake Aguilar. No obstante, la producción nacional resulta insuficiente para satisfacer la demanda interna. En 2024, México importó 134,831 toneladas de tilapia, principalmente desde China, lo que representó aproximadamente el 43% del total de las importaciones pesqueras del país. Asimismo, se identifican limitaciones en el marco normativo y en los esquemas de manejo vigentes, caracterizados por enfoques uniformes que no consideran adecuadamente la variabilidad entre embalses en términos de productividad, estructura poblacional, presión pesquera y condiciones ambientales, particularmente la variabilidad hidrológica. En este contexto, se concluye que es necesario implementar estrategias de manejo diferenciadas por embalse para fortalecer la efectividad del ordenamiento pesquero.

Palabras claves: Pesquerías de tilapia, Pesquerías continentales, Comunidades pesqueras, Manejo pesquero, Embalses mexicanos.

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



▶ ABSTRACT

Reservoir fisheries in Mexico have gained increasing importance as a source of food, employment, and livelihood for rural communities; however, they face limitations associated with data availability and the implementation of generalized management schemes. The present study analyzes the importance of the tilapia fishery (*Oreochromis spp.*) in the reservoirs of Sinaloa and identifies the main challenges to advancing toward sustainable exploitation. Sinaloa ranks among the leading tilapia-producing states in Mexico, with the Miguel Hidalgo y Costilla Reservoir, Josefa Ortiz de Domínguez Reservoir, and Guillermo Blake Aguilar Reservoir standing out as major production systems. Nevertheless, national production remains insufficient to meet domestic demand. In 2024, Mexico imported 134,831 tons of tilapia, mainly from China, representing approximately 43% of the country's total fishery imports. In addition, limitations were identified in the current regulatory framework and management schemes, which are characterized by uniform approaches that fail to adequately consider variability among reservoirs in terms of productivity, population structure, fishing pressure, and environmental conditions, particularly hydrological variability. In this context, it is concluded that reservoir-specific management strategies are necessary to strengthen the effectiveness of fisheries management and regulation.

Keywords: Tilapia fisheries, Inland fisheries, Fisheries management Fishing communities, Mexican reservoirs.

▶ INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) señala que las pesquerías continentales constituyen una actividad en expansión y de creciente relevancia a nivel global. En 2022, la producción mundial alcanzó aproximadamente 11 millones de toneladas (t), provenientes principalmente de Asia (63.4%), África (29.4%), Europa (3.5%) y América Latina y el Caribe (3.3%). Dentro de esta producción los grupos más representativos fueron las “carpas, barbos y otros ciprínidos” (1.8 millones de t), seguidos por las “tilapias y otros cíclidos” (0.8 millones de t) (FAO, 2024).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

En este contexto, la tilapia (*Oreochromis* spp.) (Figura 1) se ha consolidado como uno de los recursos pesqueros más relevantes en aguas continentales debido a su elevado valor nutricional, amplia adaptabilidad ecológica y alta disponibilidad en estos cuerpos de agua. En numerosos países, su captura y cultivo constituyen pilares de la pesca artesanal y de pequeña escala, al proveer proteína animal de bajo costo y contribuir significativamente al sustento económico de comunidades ribereñas (Gupta-Modadugu & Acosta, 2004).

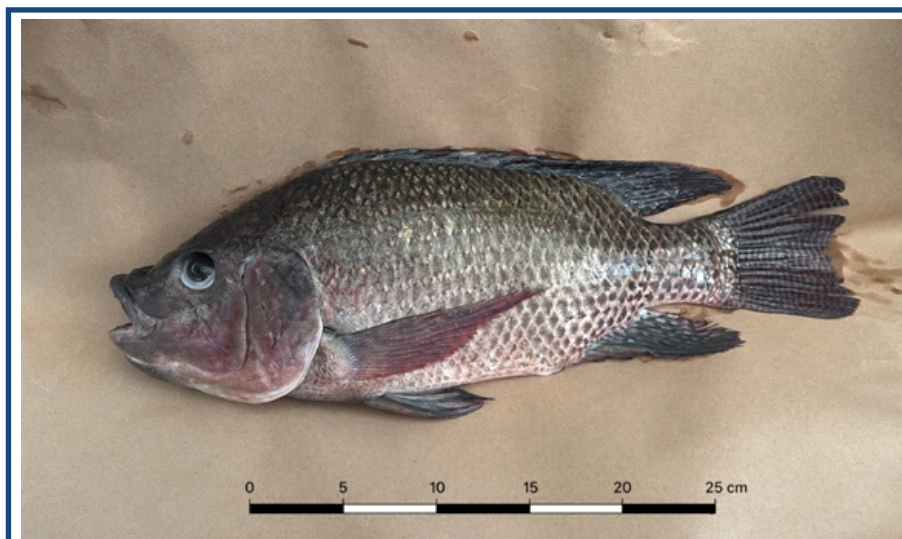


Figura 1. Ejemplar de tilapia *Oreochromis* spp.

Desarrollo del tema

Una especie introducida con alta relevancia productiva en México

En 2018, la producción de tilapia en México —considerando pesca y acuicultura— alcanzó aproximadamente 116,000 t, posicionando al país entre los principales productores mundiales (Martínez-Cordero, Delgadillo-Tiburcio, Sánchez-Zazueta, Cai, 2021). La tilapia del Nilo, predominante en México, es originaria de África y fue introducida por su rápido crecimiento, tolerancia ambiental y facilidad de cultivo, aunque actualmente se considera como especie introducida en México (Martínez-Cordero et al., 2021).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



A pesar de las implicaciones ecológicas asociadas a su introducción, la tilapia se ha consolidado como un recurso de alta importancia económica y alimentaria en aguas continentales (Mendoza-Carranza et al., 2018). Actualmente, también constituye el principal producto pesquero importado por México. En 2024 se importaron 134,831 t, principalmente desde China, equivalente a 43% del total de importaciones pesqueras, mientras que las exportaciones apenas alcanzaron 470 t. El valor de estas importaciones superó los 377 millones de dólares, lo que refuerza su relevancia económica (CONAPESCA, 2024).

Producción de tilapia en México

En México, el término “tilapia” se utiliza de manera coloquial para especies de peces pertenecientes al género *Oreochromis*, conocidas regionalmente también como “mojarras” (González-Huerta, Zavala-Leal, Flores-Ortega, 2021). Su aprovechamiento se basa en sistemas de cultivo y en pesquerías de embalses, frecuentemente sustentadas por programas de siembra de alevines producidos en instalaciones acuícolas oficiales y privadas (González-Huerta et al., 2021; CONAPESCA, 2023; Baigún y Valbo-Jørgensen, 2023).

La distribución de la tilapia es amplia e incluye presas, lagunas y otros cuerpos de agua continentales (González-Huerta et al., 2021). Su explotación se concentra en aproximadamente la mitad de las entidades federativas, destacando Chiapas, Jalisco, Sinaloa, Nayarit y Michoacán (Mendoza-Carranza et al., 2018; CONAPESCA, 2024; Rubio-Gómez, Zavala-Leal, Valdez-González, Ruiz-Velazco, Cuevas-Rodríguez, 2025). De acuerdo con el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2024, la producción nacional de mojarra —categoría que incluye tilapia— alcanzó 77,341 t. Sinaloa ocupó el primer lugar con 13,440 t, seguido de Chiapas con 12,647 t (Figura 2), lo que representa el 17% y 16% de la producción nacional, respectivamente (Figura 3) (CONAPESCA, 2024).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

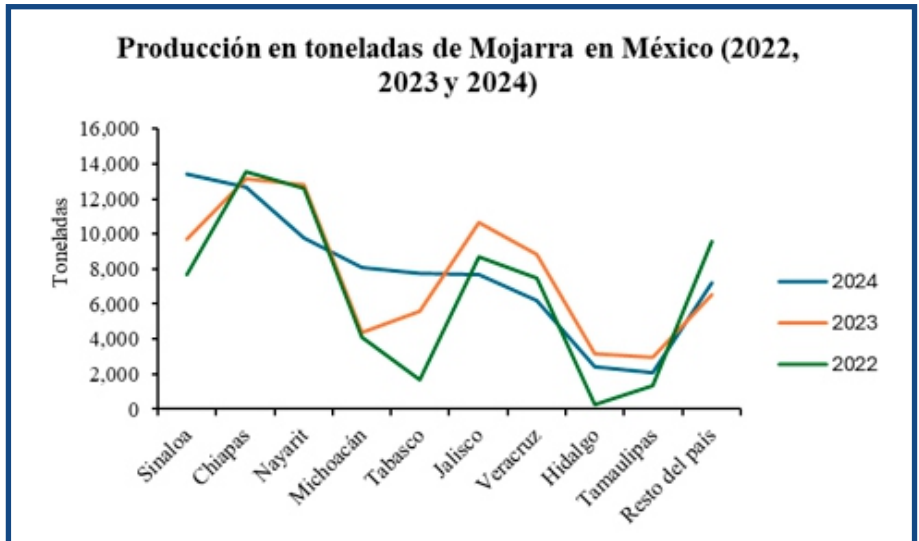


Figura 2.- Producción en toneladas de mojarra en México, año 2022, 2023 y 2024

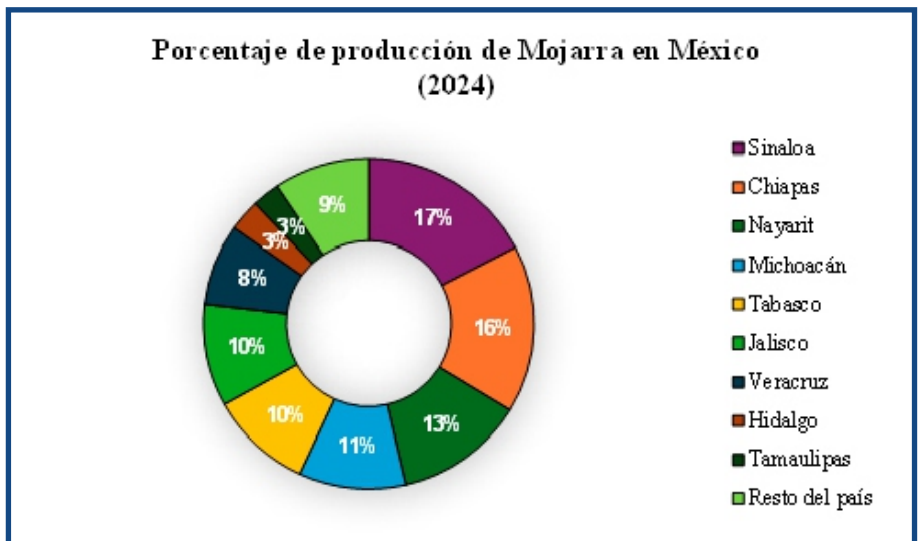


Figura 3.- Porcentaje de la producción de mojarra en México, año 2024

Consumo

En México, gran parte de la producción de especies continentales se destina al mercado interno y al autoconsumo en zonas rurales (Baigún y Valbo-Jørgensen, 2023). Durante 2024, el consumo aparente de mojarra alcanzó 210,699 t, con un consumo *per cápita* de 1.59 kilogramos (kg). El precio promedio de comercialización de la mojarra fresca y congelada fue de \$58 pesos/kg al mayoreo y \$99 pesos/kg al menudeo, observándose una tendencia creciente desde 2021, lo que refleja un aumento sostenido en la demanda nacional (Figura 4) (CONAPESCA, 2024).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

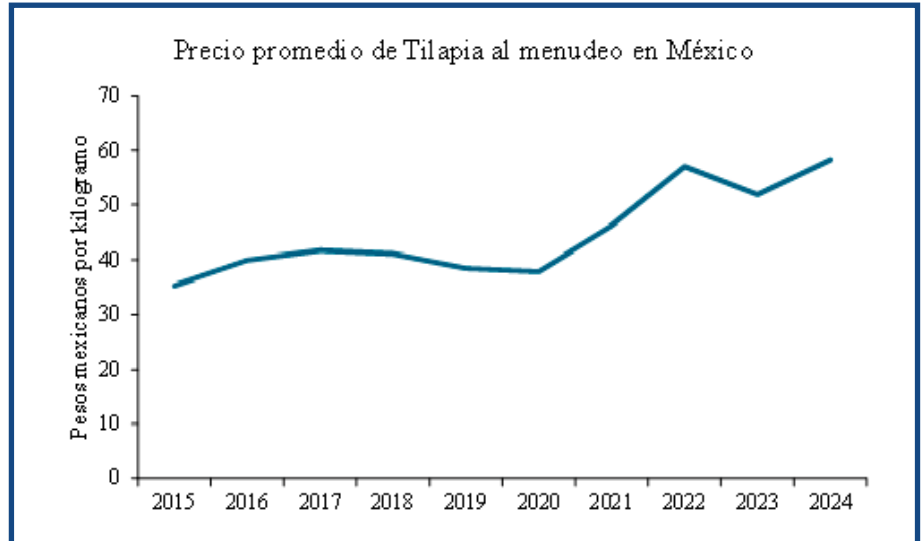


Figura 4.- Serie histórica de los precios de tilapia en México

Producción de tilapia en embalses de Sinaloa

La producción de tilapia en los embalses de Sinaloa mostró estabilidad entre 2006 y 2014, seguida de un incremento hasta alcanzar un máximo cercano a 12,500 t en 2018. Posteriormente, se registró una disminución importante con un mínimo cercano a 4,800 t en 2021 y una recuperación parcial en 2024 (8,000 t) (Figura 5) (CONAPESCA, 2025).

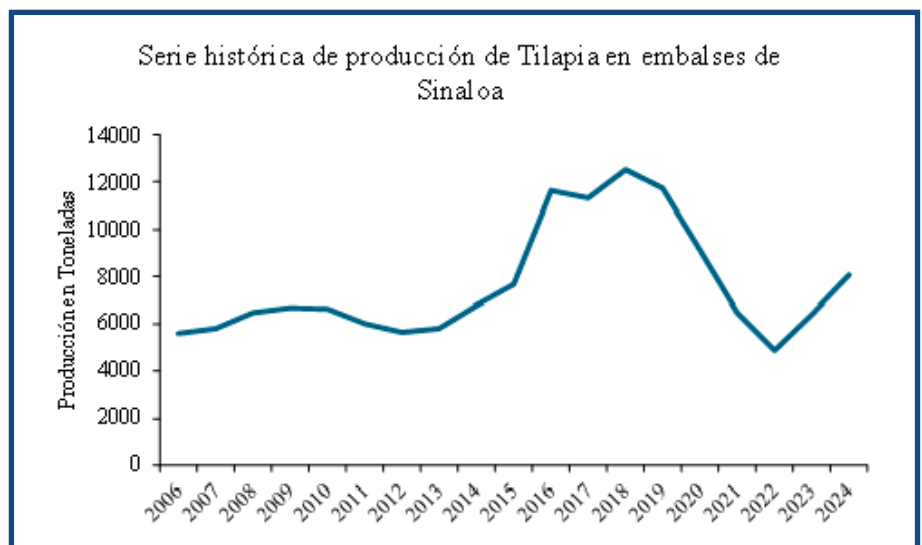


Figura 5.- Serie histórica de producción de tilapia en los embalses de Sinaloa



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

En 2024, los mayores volúmenes de captura se registraron en las presas Miguel Hidalgo y Costilla (El Mahone) y Josefa Ortiz de Domínguez (El Sabino), ambas ubicadas en el municipio de El Fuerte (CONAPESCA, 2025). No obstante, al considerar la productividad en términos de rendimiento por unidad de superficie (kg/hectárea, ha), la presa Guillermo Blake Aguilar (El Sabinal) presentó el mayor rendimiento (323 kg/ha), indicando una mayor intensidad productiva respecto a su superficie (Figura 6) (Tabla I).

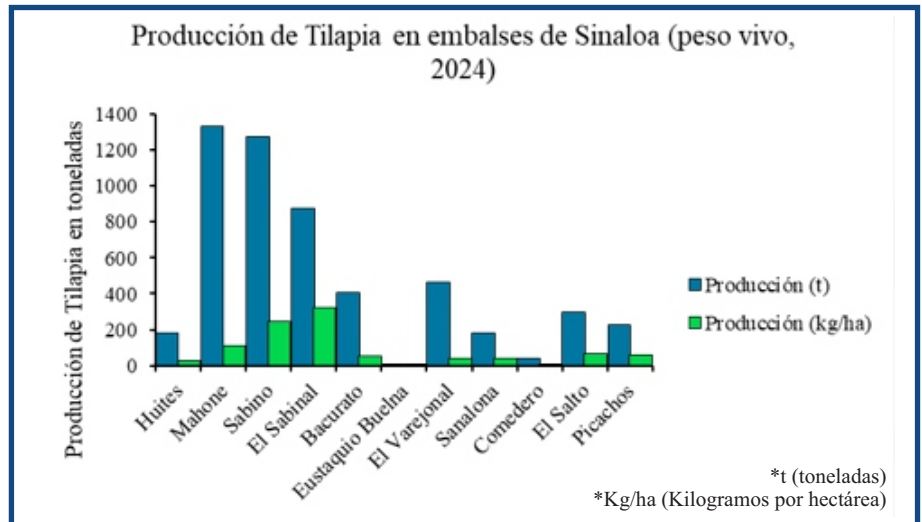


Figura 6.- Producción de tilapia en embalses de Sinaloa, año 2024

Tabla I.- Superficie, nivel de aguas máximo ordinario (NAMO) y producción de las principales presas en Sinaloa.

Nombre cuerpo de agua	Nombre común	Sup (Ha)	Cap. NAMO (Hm ³)	Municipio	Producción 2024 (t)	Producción (kg/ha)
Presa Luis Donaldo Colosio Murrieta	Huites	7,650	2,703.99	Choix	181.58	23.735
Presa Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	12,000	3,312.89	El Fuerte	1329.61	110.801
Presa Josefa Ortiz de Domínguez	El Sabino	5,200	519.28	El Fuerte	1275.53	245.294
Presa Guillermo Blake Aguilar	El Sabinal	2,709	294.58	Sinaloa	875.01	323.002
Presa Gustavo Diaz Ordaz	Bacurato	7,916	1,618.75	Sinaloa Salvador	404.69	51.123
Presa Eustaquio Buelna	Guamúchil	5,100	80.08	Alvarado Culiacán	1.24	0.243
Presa Adolfo López Mateos	El Varcjonal	11,346	3,086.61	Badiraguato	464.85	40.970
Presa Sanalona	Sanalona	4,506	687.99	Culiacán	183.48	40.720
Presa José López Portillo	El Comedero	8,974	2,580.19	Cosalá	39.50	4.402
Presa Aurelio Benassini Vizcaino	El Salto	4,719	403.90	Elota Mazatlán	299.19	63.401
Presa Picachos	Picachos	4,000	322.00	Concordia	226.34	56.585

*Sup (ha) (Superficie del embalse expresada en hectáreas)
 *Hm³ (hectómetros cúbicos)
 *NAMO (Nivel de Aguas Máximo Ordinario)
 *Producción 2024 (t) (Producción de peso vivo en toneladas)
 Producción (kg/ha) Producción en Kilogramos por hectárea

Fuente: CONAPESCA, 2025 y CONAGUA, 2026

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

Total de alevines de Tilapia sembrados en embalses de Sinaloa (2022, 2023, 2024 y 2025)

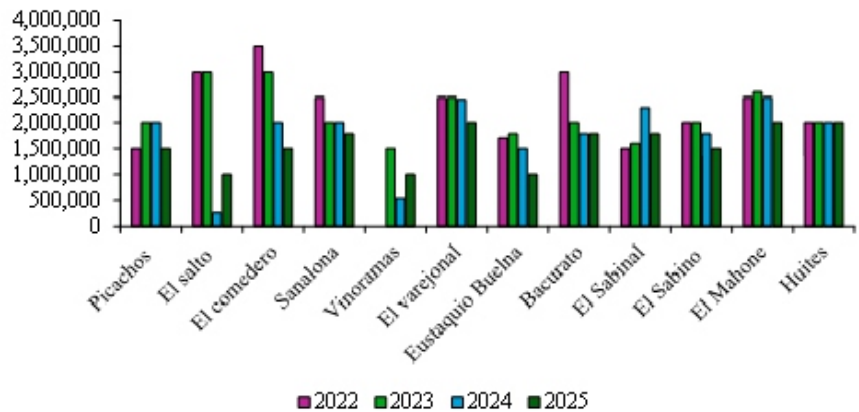


Figura 7.- Total de alevines de tilapia sembrados por la secretaría de pesca en embalses de Sinaloa (2022, 2023, 2024 y 2025).

Manejo de la pesquería de tilapia

En México, la pesca continental está regulada principalmente por la NOM-060-SAG/PESC-2016 (DOF, 2016), emitida por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) a través de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA). Esta normativa establece criterios relacionados con artes de pesca, tallas mínimas, vedas, zonas de refugio y límites de esfuerzo pesquero.

El tipo de acceso se realiza mediante permisos para pesca comercial de Escama Agua Dulce, los cuales son autorizados por la CONAPESCA previa Opinión Técnica del Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS) (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2023).

Como se ha mencionado anteriormente, la regulación pesquera en aguas continentales se basa en lineamientos generales establecidos en la NOM-060-SAG/PESC-2016, la cual fue publicada en el año 2014 y posteriormente modificada en el 2016 (DOF, 2016), siendo considerada como un gran logro en el rumbo del manejo de los recursos pesqueros y acuícolas. En esta NOM, se agregó un apartado especial nombrado Anexo 1, en el que se atienden de forma específica, a petición de los propios usuarios, algunas demandas relacionadas con el manejo. Para Sinaloa se atienden las recomendaciones para la presa Aurelio Benassini



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Vizcaino (El Salto) y la presa Luis Donaldo Colosio Murrieta (Huites), en esta última se autoriza el uso de redes de enmalle elaboradas con hilo monofilamento de nylon u otras poliamidas, con un diámetro de entre 0.25 y 0.27 mm, una luz de malla mínima de 114.3 milímetros (mm) (4½ pulgadas), longitud máxima de 80 metros (m), altura o caída no mayor a 3 m y un coeficiente de encabalgado entre 35 y 55%. Asimismo, se permite el empleo de trampas o nasas para peces o crustáceos de operación manual. Estas artes están sujetas a restricciones operativas específicas, es decir, se permite un máximo de dos redes de enmalle por embarcación de manera simultánea y hasta cinco redes por pescador, con la prohibición de unir más de dos redes. La instalación y operación de redes, trampas o nasas no deberá exceder de 12 horas continuas, limitándose su uso a los días de lunes a viernes. Adicionalmente, la norma establece un límite máximo de esfuerzo pesquero equivalente a 600 redes de enmalle, así como una talla mínima de captura para tilapia de 250 mm de longitud total, lo anterior, como medida orientada a la protección de juveniles y al sostenimiento del recurso. Asimismo, establece como Zona de Refugio para proteger el ciclo de reproducción de la tilapia una región conocida como “Arroyo Mamurita” (DOF, 2016). En la ficha de la Carta Nacional Pesquera (CNP) 2023 se consideran únicamente 15 embalses a nivel nacional, de los cuales, para el estado de Sinaloa, solo se incluye a la Presa El Salto (DOF, 2023). En este sistema, la pesquería de tilapia se encuentra con aprovechamiento máximo sustentable, lo que indica que los niveles de captura han alcanzado un nivel cercano al óptimo biológico, permitiendo el uso del recurso sin comprometer su capacidad de renovación ni su viabilidad a largo plazo. Aunque hay embalses que no se encuentran específicamente en la NOM o en la CNP, en las tomas de decisiones generalmente se siguen las recomendaciones de la FAO, como la existencia de un esquema de manejo pesquero, por ejemplo, los acuerdos iniciales para los periodos de veda que se realizan de manera consensuada entre miembros de las cooperativas pesqueras y posteriormente se formalizan por la CONAPESCA mediante su incorporación en los permisos de pesca comercial.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Retos de la pesquería de tilapia en embalses de Sinaloa

La pesquería de tilapia en los embalses de Sinaloa enfrenta diversos retos de carácter biológico, ambiental, normativo, social y administrativo que condicionan su sostenibilidad y limitan el aprovechamiento óptimo del recurso.

Información confusa e insuficiente

Una problemática relevante para la evaluación y gestión pesquera es la evidente discrepancia entre las cifras reportadas en el Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura y los datos derivados de los avisos de arribo de la CONAPESCA, particularmente en recursos como la tilapia, que en diversos registros oficiales y comerciales también suele agruparse o denominarse mojarra (CONAPESCA, 2024; CONAPESCA, 2025). Al comparar ambas fuentes en general, se observan grandes diferencias, en algunos casos superiores hasta al 100%. Esta inconsistencia evidencia posibles limitaciones en los procesos de integración, validación o actualización de la información oficial, lo que genera incertidumbre sobre la precisión de las estadísticas utilizadas para caracterizar la producción pesquera, pues se compromete la confiabilidad de los análisis biológico-pesqueros y subraya la necesidad de fortalecer los mecanismos de transparencia, estandarización y conciliación de datos oficiales.

Otro punto importante es que, en muchos casos, la producción no es reportada de manera precisa por parte de los pescadores, ya sea por omisiones, subregistro o por sesgos asociados a la forma en que el producto es comercializado y declarado (por ejemplo, entero, eviscerado, fileteado o bajo distintas denominaciones comerciales como tilapia o mojarra) incluso las capturas no siempre son declaradas. Aunado a lo anterior, muchas veces la captura de información no es revisada y como consecuencia se encuentran muchos errores en las bases de datos. Estas variaciones en la información del producto pueden distorsionar significativamente las estadísticas oficiales.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



La producción nacional no cubre la demanda interna

A pesar de la relevancia productiva de la tilapia en México, la creciente brecha entre la demanda interna y la producción nacional ha incrementado la dependencia de importaciones, evidenciando que la oferta doméstica resulta insuficiente para abastecer plenamente el consumo nacional, lo que plantea desafíos para la seguridad alimentaria, la competitividad del sector y el fortalecimiento de las pesquerías y sistemas acuícolas nacionales (Martínez-Cordero et al., 2021; CONAPESCA, 2024; Romero-Beltrán et al., 2021).

Incertidumbre en siembras y repoblamiento de tilapia

En la práctica no existe un seguimiento posterior de los organismos liberados, ni información oficial suficiente que permitan indicar los beneficios de las siembras en las presas, o si estas acciones son efectivas o incluso pertinentes para las condiciones específicas de cada embalse.

Así mismo, está documentado que la efectividad de los programas de repoblamiento depende de esquemas robustos de monitoreo biológico, productivo y económico; sin evaluación continua, estas estrategias pueden generar incertidumbre respecto a su contribución real al reclutamiento y rendimiento pesquero, por lo que deben complementarse con control del esfuerzo y conservación del hábitat (Lorenzen, 2005; Welcomme et al., 2010; FAO, 2016).

Otro punto importante es que las cifras disponibles sobre producción y repoblamiento de tilapia evidencian posibles inconsistencias en la escala y cobertura de los programas institucionales. Por un lado, el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca (2024) no señala la cantidad de productores de alevines de tilapia por parte del sector privado pero si reporta que existen solo 10 centros acuícolas de la SADER en el 2024, los cuales produjeron alrededor de 2,617,000 crías de tilapia a nivel nacional (CONAPESCA, 2025); esta cifra parece contrastar con los programas de repoblamiento impulsados por instancias estatales, como la Secretaría de Pesca de Sinaloa, quienes señalan la siembra de más de 21 millones de alevines anuales en el estado para el mismo año (ver figura 6). Esta discrepancia sugiere que las estadísticas oficiales



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



nacionales posiblemente no reflejan de manera integral todas las fuentes de producción y distribución de alevines, particularmente aquellas derivadas de programas estatales, convenios locales, centros no federales o participación privada.

Cantidad y diversidad de embalses continentales

Otra problemática estructural para el manejo de las pesquerías continentales en México radica en la magnitud y diversidad de los sistemas acuáticos artificiales existentes en el país. Se estima que actualmente existen alrededor de 4,500 presas de distintos tamaños, distribuidas en una amplia variedad de regiones climáticas y altitudes (las cuales fueron construidas principalmente para el almacenamiento de agua con fines agroindustriales y de generación hidroeléctrica, aunque también sostienen actividades de gran relevancia como la pesca comercial, recreativa y la acuicultura) (Beltrán-Álvarez et al., 2015), sin embargo, esta gran cantidad y heterogeneidad de embalses representa un desafío considerable para su evaluación y manejo individualizado, ya que resulta técnica, logística e institucionalmente complejo desarrollar estrategias específicas para cada cuerpo de agua. Aunque en las últimas décadas se han incrementado los estudios sobre lagos y embalses mexicanos, la investigación disponible continúa siendo limitada, fragmentada y frecuentemente enfocada en problemáticas particulares, sin una visión integral del ecosistema.

Manejo normativo uniforme de los embalses

Aunque el enfoque normativo de la NOM es para todos los cuerpos de agua del país, no distingue entre las particularidades de los sistemas que no se mencionen en el citado Anexo1 (DOF, 2016). Esta generalización restringe la posibilidad de diseñar e implementar medidas de manejo diferenciadas, acordes con las condiciones ecológicas, productivas y socioeconómicas específicas de cada embalse, lo que puede limitar la eficacia de las estrategias de ordenamiento pesquero.

Sequías y variabilidad hidrológica.

La recurrencia de periodos de sequía en el noroeste de México ha provocado reducciones significativas en los niveles de almacenamiento



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



de los embalses en Sinaloa, afectando el hábitat disponible, la productividad primaria y los procesos de reclutamiento de la tilapia. La disminución del volumen de agua no solo contrae el área de pesca, sino que puede concentrar el esfuerzo pesquero en zonas más reducidas, incrementando la presión sobre el recurso. Además, las fluctuaciones extremas en el nivel del embalse alteran la disponibilidad de zonas de reproducción y refugio, lo que repercute en la estabilidad del stock y en la variabilidad interanual de las capturas.

Violencia e inseguridad

Según opiniones de los lugareños, las condiciones de inseguridad en algunas regiones de Sinaloa representan un reto adicional para la actividad pesquera. La violencia puede limitar el acceso a ciertas zonas de pesca, alterar las dinámicas de operación de los pescadores y afectar la continuidad de los programas de monitoreo e investigación. Asimismo, incide en la comercialización del producto, la organización de los pescadores y la implementación de medidas de manejo, debilitando la gobernanza del recurso y la capacidad institucional para su regulación efectiva.

DISCUSIÓN

Información confusa e insuficiente. Los resultados evidencian que la pesquería de tilapia en embalses de Sinaloa posee una alta relevancia productiva y socioeconómica; sin embargo, su sostenibilidad está limitada por deficiencias estructurales en la disponibilidad, precisión y sistematización de la información. La escasez de datos biológico-pesqueros continuos, así como discrepancias entre registros oficiales, producción real y estadísticas locales, dificultan la evaluación objetiva del estado de los recursos y restringen el diseño de estrategias de manejo sustentadas en evidencia científica. Este patrón coincide con lo documentado para numerosas pesquerías continentales en países en desarrollo, donde las limitaciones de información representan uno de los principales obstáculos para la evaluación de stocks y la implementación de medidas de ordenamiento efectivas (FAO, 2018; Welcomme et al.,



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



2015; Froese et al., 2017). En este contexto, fortalecer los sistemas de monitoreo, estandarizar registros y mejorar la transparencia institucional constituye una prioridad para reducir incertidumbre en la toma de decisiones.

La producción nacional no cubre la demanda interna. A pesar de la importancia estratégica de la tilapia en México como recurso pesquero y acuícola, la creciente demanda nacional supera la capacidad de producción interna, incrementando la dependencia de importaciones para satisfacer el consumo (CONAPESCA, 2025). Este escenario refleja una brecha estructural entre producción y demanda, impulsada por el aumento del consumo per cápita, cambios en preferencias alimentarias, mejoras en distribución y crecimiento poblacional (FAO, 2024). En consecuencia, el fortalecimiento de las pesquerías continentales y de la acuicultura nacional no sólo representa una oportunidad económica, sino también una estrategia clave para la seguridad alimentaria y la reducción de dependencia externa.

Incertidumbre en siembras y repoblamiento de tilapia. Los programas de siembra y repoblamiento han sido utilizados como herramientas frecuentes para sostener o incrementar la producción en embalses; sin embargo, su efectividad biológica, productiva y económica continúa siendo incierta cuando no existen esquemas robustos de seguimiento científico. Aunque el repoblamiento puede incrementar biomasa a corto plazo, su éxito depende de variables como capacidad de carga, supervivencia post-siembra, interacción con poblaciones silvestres y control del esfuerzo pesquero (Lorenzen, 2005; De Silva & Funge-Smith, 2005). La ausencia de monitoreo sistemático dificulta determinar si estas estrategias representan soluciones efectivas o si su impacto es limitado frente a medidas prioritarias como conservación del hábitat, regulación del esfuerzo y protección del reclutamiento natural.

Cantidad y diversidad de embalses continentales. La amplia diversidad de embalses mexicanos, particularmente en Sinaloa, implica condiciones ecológicas, morfométricas, productivas y sociales altamente heterogéneas. La variabilidad observada en rendimiento pesquero entre



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



embalses sugiere diferencias importantes en capacidad de carga, productividad trófica, presión pesquera y resiliencia ecológica. Esta heterogeneidad coincide con estudios que reconocen que los sistemas lénticos responden de manera diferenciada a la explotación, por lo que extrapolar medidas generales puede resultar técnicamente ineficiente (Hilborn & Walters, 2013; Lorenzen, 2005). En consecuencia, cada embalse requiere análisis específicos para orientar decisiones de manejo acordes con su realidad biofísica y socioeconómica.

Manejo normativo uniforme de los embalses. El marco normativo vigente en México, incluyendo la Carta Nacional Pesquera y diversas Normas Oficiales aplicables a aguas continentales, mantiene en gran medida un enfoque homogéneo para cuerpos de agua con características distintas. Esta generalización reduce la capacidad de implementar estrategias diferenciadas según productividad, composición de especies, presión pesquera o contexto social. La literatura internacional destaca que las pesquerías continentales requieren enfoques adaptativos, específicos por sistema y sustentados en el criterio precautorio (FAO, 2016; Hilborn et al., 2005; Lorenzen et al., 2016). Por ello, resulta fundamental transitar hacia planes de manejo individualizados por embalse que permitan maximizar sostenibilidad ecológica y eficiencia socioeconómica.

Sequías y variabilidad hidrológica. La variabilidad climática y las sequías representan factores determinantes en la dinámica de las pesquerías continentales, particularmente en regiones como Sinaloa donde las fluctuaciones en almacenamiento pueden modificar drásticamente hábitat disponible, productividad primaria, reclutamiento y esfuerzo pesquero. Cambios en niveles de agua pueden alterar patrones de reproducción, concentración de organismos y accesibilidad pesquera, incrementando incertidumbre en capturas y sostenibilidad (Welcomme et al., 2015). Bajo escenarios de cambio climático, estos efectos podrían intensificarse, haciendo indispensable incorporar variables hidrológicas en la planeación pesquera.

Violencia e inseguridad. Además de los factores ecológicos y normativos, el contexto social asociado a inseguridad y violencia en



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



ciertas regiones puede influir directamente sobre la operación de la pesquería, la movilidad de pescadores, el acceso a zonas de captura, la comercialización y la gobernanza local. Estas condiciones pueden limitar el monitoreo institucional, reducir la efectividad de políticas de manejo y aumentar vulnerabilidad socioeconómica en comunidades pesqueras. Aunque este componente ha sido menos documentado en estudios pesqueros convencionales, constituye un elemento relevante para comprender integralmente la sostenibilidad del recurso.

Hacia un manejo diferenciado por embalse

En conjunto, la interacción entre limitaciones de información, dependencia externa, incertidumbre en repoblamiento, heterogeneidad ecológica, marcos normativos generalistas, variabilidad hidrológica y factores sociales refuerza la necesidad de adoptar enfoques de manejo ecosistémico y co-manejo comunitario. La sostenibilidad de la pesquería de tilapia en embalses de Sinaloa dependerá de la formulación de planes de manejo específicos por embalse, sustentados en monitoreo científico continuo, criterio precautorio, participación de usuarios y articulación entre dimensiones biológicas, ambientales, sociales y económicas (FAO, 2018). Esta transición permitiría avanzar desde esquemas generalistas hacia modelos más adaptativos, resilientes y orientados a fortalecer tanto la seguridad alimentaria como la gobernanza pesquera regional

▶ CONCLUSIÓN

La pesquería de tilapia (*Oreochromis spp.*) en los embalses de Sinaloa constituye un recurso estratégico para la seguridad alimentaria, la economía regional y el sustento de numerosas comunidades rurales; no obstante, su aprovechamiento sostenible enfrenta desafíos importantes asociados a limitaciones en la calidad y disponibilidad de información, marcos normativos predominantemente generalistas y la interacción de factores ambientales, productivos y sociales.

Recomendaciones

Se recomienda impulsar un enfoque integral de manejo adaptativo para los embalses continentales, sustentado en estudios de capacidad de carga



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



que definan límites ecológicos, productivos y ambientales para un aprovechamiento sostenible. Este esquema debe complementarse con planes de manejo pesquero específicos por embalse, basados en el criterio precautorio y en las particularidades ecológicas, sociales y productivas de cada sistema, en concordancia con el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 1995). Asimismo, resulta prioritario fortalecer la gobernanza mediante esquemas de co-manejo que incorporen activamente a pescadores y comunidades locales en la toma de decisiones, mejorando la efectividad del ordenamiento, reduciendo conflictos y fortaleciendo la sostenibilidad socio-ecológica. Paralelamente, para atender el déficit productivo nacional, se requiere una estrategia orientada al fortalecimiento de la infraestructura de producción de insumos biológicos, incluyendo la modernización y reactivación de laboratorios de alevinaje, así como el desarrollo de planes de ordenamiento acuícola sustentados en indicadores técnicos de capacidad de carga, biomasa, densidad y potencial productivo, que permitan optimizar la producción sin comprometer la integridad ambiental de los embalses.

▶ AGRADECIMIENTO

El primer autor agradece el valioso apoyo institucional brindado de la Secretaría de Pesca y Acuicultura del Estado de Sinaloa por el acceso a información relevante para esta investigación; a SECIHTI por el apoyo financiero a través de la estancia posdoctoral; y Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa por el soporte institucional y académico.

▶ LITERATURA CITADA

Baigún, C. R. M. y Valbo-Jørgensen, J. (dirs.) (2023). La situación y tendencia de las pesquerías continentales artesanales de América Latina y el Caribe. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura N.º 677. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3839es>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., & Arroyo-Bustos, G. (2015). Diagnóstico Limnológico y pesquero de los principales embalses de Sinaloa. Colección: Situación, Retos y Tendencias para el Desarrollo Rural Sustentable. CEDRSSA. Cámara de Diputados LXII Legislatura, México, D.F., México. http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/cedrssa/lxii/diag_limpes_prinemb_sin.pdf

Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). (2023). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

<https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>

Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (CONAPESCA). (2024). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>

Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). (2025). Sistema de Información de Pesca y Acuicultura (SIPESCA). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (SADER), Mexico. <https://sipesca.conapesca.gob.mx/>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2026). Inventario nacional de presas. Recuperado el 23 de abril de 2026, de: https://presas.conagua.gob.mx/inventario/hnombre_presa.aspx

De Silva, S. S., & Funge-Smith, S. (2005). A review of stock enhancement practices in the inland water fisheries of Asia. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. https://www.researchgate.net/publication/303942353_A_review_of_stock_enhancement_practices_in_the_inland_water_fisheries_of_Asia



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-060-SAG/PESC-2014, Pesca responsable en cuerpos de aguas continentales dulceacuícolas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (S A G A R P A) , Mé x i c o . https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5346129

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2016). Norma Oficial Mexicana NOM-060-SAG/PESC-2016, Pesca responsable en cuerpos de aguas continentales dulceacuícolas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos Especificaciones para el aprovechamiento. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5452927&fecha=19/09/2016#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2023). *Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera.* Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México. <https://www.dof.gob.mx>

Dorantes-De-La-O, J. C. R., Maeda-Martínez (2023). Bioeconomic model for the evaluation of a backyard aquaculture system for tilapia in rural Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(2), 282–296, doi: 10.3856/vol51

Froese, R., Demirel, N., Coro, G., Kleisner, K. M., & Winker, H. (2017). Estimating fisheries reference points from catch and resilience. *Fish and Fisheries*, 18(3), 506–526. <https://doi.org/10.1111/faf.12190>

Gaspar-Dillanes, M. T., & Hernández-Montaño, D. (2013). *Pesquerías continentales de México.* Instituto Nacional de Pesca. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1080.8406>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- González-Huerta, C. A., Zavala-Leal, O. I., & Flores-Ortega, J. R. (2021).** Tilapias: de la introducción a la producción, desarrollo económico de su cultivo en México. *AquaTechnia*, 58–64. <http://cimateuan.education/revistav2/index.php/AP/article/view/97/96>
- Gupta-Modadugu V., & Acosta, B. O. (2004).** A review of global tilapia farming practices. *Aquaculture Asia*, 9(1), 7–12. doi:[10.3109/9780203308905-5](https://doi.org/10.3109/9780203308905-5)
- Guzmán-Luna, P., Gerbens-Leenes W., Vaca-Jiménez, S. (2021).** The water, energy, and land footprint of tilapia aquaculture in Mexico. *Ecological Indicators*, 125, 107–544.
- Hilborn, R., Orensanz, J. M., & Parma, A. M. (2005).** Institutions, incentives and the future of fisheries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1453), 47–57. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1569>
- Hilborn, R., & Walters, C. J. (2013).** Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Springer.
- Lorenzen, K. (2005).** Population dynamics and potential of fisheries stock enhancement: Practical theory for assessment and policy analysis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1453), 171–189. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1570>
- Lorenzen, K., Cowx, I. G., & Welcomme, R. L. (2016).** Inland capture fisheries. In B. F. Phillips & M. Pérez-Ramírez (Eds.), *The fishery manager's handbook* (pp. 159–186). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119154051.ch8>
- Martínez-Cordero, F.J., Delgadillo-Tiburcio, T.S., Sánchez-Zazueta, E. & Cai, J. (2021).** Tilapia aquaculture in Mexico: assessment with a focus on social and economic performance. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1219*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb3290en>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Mendoza-Carranza, M., Arévalo-Frías, W., Espinoza-Tenorio, A., Hernández-Lazo, C. C., Álvarez-Merino, A. M., Rodiles-Hernández, R. (2018). La importancia y diversidad de los recursos pesqueros del río Usumacinta, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 131-146. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2182>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (1995). Código de Conducta para la Pesca Responsable. Recuperado de <https://www.fao.org/3/v9878s/V9878S.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016). *Fisheries enhancements for small water bodies in developing countries*. FAO Fisheries Technical Papers. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/5f4ed490-ee50-5ecb-a7f7-02dbbe4510d8>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO) (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible. FAO. Roma. Italia. <https://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO) (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura (2024). La transformación azul en acción. FAO. Roma. Italia. 278p. doi: 10.4060/CD0683es

Romero Beltrán, E., Rendón Martínez, J. R., Gaspar Dillanes, M. T., et al. (2021). Capacidad de carga de la presa Belisario Domínguez (La Angostura). Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA), Gobierno de México. https://www.researchgate.net/publication/356508098_Capacidad_de_carga_de_la_presa_Belisario_Dominguez_La_Angostura

Rubio-Gómez, W., Zavala-Leal, O. I., Valdez-González, F. J., Ruiz-Velazco, J. M. de J., & Cuevas-Rodríguez, B. L. (2025). Pesquería de tilapia en aguas continentales de México: estado actual y perspectivas. *Acta Biológica Mexicana*, 1(2), 70-98. <https://revistas.uas.edu.mx/index.php/ACBIOMEX/article/view/1262>.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



SAGARPA. (2015). Estudio para la determinación de esquemas de mejora en los procesos de producción y comercialización en las granjas de tilapia, enfatizando en la inocuidad alimentaria y en los puntos críticos de control. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346783/Tilapia_Ejecutivo.pdf?utm

Secretaría de Pesca y Acuicultura. (2025). *Relación de alevines de tilapia sembradas en las presas del Estado de Sinaloa* (Oficio SPyA/0269/2025). Gobierno de Estado de Sinaloa.

Welcomme, R. L., Bartley, D. M., Lorenzen, K., & Acosta, A. (2010). Advances in stocking and stock enhancement in inland waters. *Fisheries Management and Ecology*, 17(6), 407–421 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2010.00764.x>

Welcomme, R. L., Funge-Smith, S., Halls, A., & Cowx, I. G. (2015). Alternative strategies for enhancement of fish stocks. *FAO Regional Office for Asia and the Pacific*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4f8f5e6f-38a2-4f8e-9f2f-0c3d4a4d6f5b/content>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Revista CIMAR UAS

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

ISSN 3061-8959

 Revisión Científica

Efectos del cobre en la salud humana por consumo de peces marinos.

Effects of copper on human health from consumption of marine fish.




CREATIVE COMMONS



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original


 1. Nancy Lorena Garzón-Raygoza

 0000-0003-1318-9319

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.


Autor de correspondencia: nancy_facimar@uas.edu.mx

 2. Marisela Aguilar-Juárez

 0000-0003-0862-5542


Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 3. Carmen Cristina Osuna-Martínez

 0000-0003-4934-5790

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 4. Carolina Bojórquez-Sánchez

 0000-0002-3371-059X


Universidad Politécnica de Sinaloa. Carretera Municipal Libre Mazatlán Higuera Km 3, Mazatlán, Sinaloa, CP 82199. México.

 5. Magdalena Elizabeth Bergés-Tiznado

 0000-0002-3993-763X

Universidad Politécnica de Sinaloa. Carretera Municipal Libre Mazatlán Higuera Km 3, Mazatlán, Sinaloa, CP 82199. México.

 6. Ofelia Escobar-Sánchez

 0000-0002-7841-0080

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Ciudad de México, Mexico.

Recibido 6 de mayo 2026

Aceptado 1 de junio 2026



Efectos del cobre en la salud humana por consumo de peces marinos.

Effects of copper on human health from consumption of marine fish.

► RESUMEN

El cobre es un elemento químico presente de manera natural en el ambiente, cuya principal vía de exposición para los seres humanos es a través del agua y los alimentos. Este metal es liberado tanto por fuentes naturales como antropogénicas, lo que favorece su amplia distribución en ecosistemas terrestres y acuáticos a escala global. Además, forma parte esencial de los organismos vivos, desempeñando funciones clave en procesos biológicos fundamentales, incluyendo el mantenimiento de los sistemas inmunológico y cardiovascular. Asimismo, el cobre tiene propiedades antimicrobianas y participa en el crecimiento y desarrollo del ciclo de vida de diversos organismos. Sin embargo, a pesar de su carácter esencial, la exposición a concentraciones elevadas de cobre puede causar daños a la salud humana, generando efectos adversos dependientes de la dosis y el tiempo de exposición. En este contexto, el presente trabajo constituye una revisión de la literatura enfocada en evaluar el riesgo potencial asociado al consumo de peces en México como vía de exposición a este elemento. Se enfatiza la importancia de comprender la biodisponibilidad del cobre en los alimentos de origen acuático, así como la necesidad de profundizar en estudios que permitan establecer con mayor precisión la relación entre su ingesta y los posibles efectos tóxicos en el organismo humano.

Palabras claves: metal pesado, consumo, biodisponibilidad, riesgo.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



► ABSTRACT

Copper is a chemical element that occurs naturally in the environment, and the main route of exposure for humans is through water and food. This metal is released by both natural and anthropogenic sources, which favors its wide distribution in terrestrial and aquatic ecosystems on a global scale. Furthermore, it is an essential part of living organisms, playing key roles in fundamental biological processes, including immune and cardiovascular systems maintenance. Likewise, copper has antimicrobial properties and participates in the growth and development of the life cycle of various organisms. However, despite its essential nature, exposure to high concentrations of copper may pose a risk to human health, causing adverse effects depending on the dose and exposure time. In this context, the present work constitutes a review of the literature focused on evaluating the potential risk associated with the consumption of fish in Mexico as a route of exposure to this element. Emphasis is placed on the importance of understanding the bioavailability of copper in foods of aquatic origin, as well as the need to delve deeper into studies that allow for a more precise establishment of the relationship between its intake and the possible toxic effects on the human body.

Keywords: heavy metal, consumption, bioavailability, risk.

► INTRODUCCIÓN

El consumo de pescado proporciona proteínas de excelente calidad debido a que es rico en ácidos grasos Omega-3 (esenciales para la nutrición infantil, siendo fundamental en el desarrollo del cerebro), dispone de una gran variedad de minerales (calcio, fósforo, sodio, zinc, hierro, magnesio, etc.). vitaminas (A, B, D, E, K) y algunos otros micro nutrientes. Sin embargo, es importante saber el contenido de metales pesados de estos organismos para estar informados del consumo seguro para que no afecte a la salud humana (Traverso y Avdalov, 2014). Dado que, en los últimos años, la contaminación por metales pesados ha ido en



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



aumento, afectando el medio ambiente (Manahan, 2007). Estos contaminantes ambientales son preocupantes, ya que tienden a acumularse en los organismos, son persistentes por su composición química y poseen baja biodegradabilidad (Rajeshkumar y Munuswamy, 2011).

En México, existen reportes de la presencia de metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire, así como en ambientes costeros y marinos, donde se ha detectado la acumulación de metales tóxicos en diferentes tejidos de peces, crustáceos y moluscos destinados al consumo humano (Frías-Espéricueta *et al.*, 2008; González-Dávila *et al.*, 2012; García-Hernández *et al.*, 2015).

Los metales pesados se encuentran distribuidos en la naturaleza, lo que hace inevitable su presencia en todo ser vivo. Su principal fuente de contaminación son las actividades antropogénicas, entre ellas la minería, llegando por medio de escorrentías a los ecosistemas marinos (Díaz-Báez *et al.*, 2004; Penicaud *et al.*, 2017).

De los agentes contaminantes que ingresan a los ambientes marinos, se ha encontrado que el cobre (Cu) tiene una alta afinidad por los tejidos grasos de los peces, como el músculo, riñón, gónada e hígado donde tiende a bioacumularse (Ruelas-Inzunza *et al.*, 2014). Debido a su persistencia, puede biomagnificarse a través de la cadena trófica, esto significa que puede existir una mayor concentración del metal conforme incrementa los niveles tróficos (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006; Ivanina y Sokolova, 2015; Valle-López, 2021).

Para conocer los niveles de cobre en el medio marino, se realizan monitoreos a través de muestreos de especies de peces, de los grupos más capturados y uno de los de mayor importancia comercial y económica, que son organismos acuáticos que tienden a bioacumular elementos tóxicos a concentraciones superiores a las del medio. La toxicidad en cada organismo depende del nivel de concentración, el tiempo de exposición, tasa de absorción celular y factores bióticos (plantas, animales, microorganismos) y abióticos (temperatura, oxígeno, el agua, la luz solar) del ecosistema (Castañé, 2003).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Presencia de cobre en peces

Las principales fuentes de cobre en los cuerpos de agua provienen de las actividades mineras, de los procesos industriales, los ciclos biológicos y de la erosión de las rocas. Generando considerables niveles de este metal, que llegan a los cuerpos de agua por medio de escorrentías. En cuanto al ser humano, el cobre se obtiene a través de la cadena alimenticia (Sadeghi *et al.*, 2011).

En la tabla I, se muestra la presencia de Cu en peces de diferentes áreas de México. Los mayores niveles de Cu reportados por Pérez-Rojo (2022) en *Lutjanus peru* en La Paz, Baja California Sur (BCS) Y los niveles más bajos son reportados por Valle-López (2021) en *Lutjanus guttatus* en Santa Rosalía, La Paz, BCS. Sin embargo, en México no se cuenta con una normatividad que especifique los valores límites permisibles para el Cu, debido a que es considerado un elemento esencial. No obstante, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) tiene como límite máximo permisible en Cu de 100 mg/kg.

Tabla I. Contenido de cobre en músculo de peces de acuerdo a estudios recientes en México.

Especie	Área de estudio	Cu (mg/kg)	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> (Mojarra)	Álamos, Sonora	0.004	Balderrama-Carmona <i>et al.</i> (2018)
<i>Lutjanus guttatus</i> (Pargo)	Santa Rosalia, La Paz, BCS	0.002	Valle-López (2021)
<i>Carcharhinus falciformis</i> (Tiburón)	Manzanillo, Colima	3.58	Álvaro-Berlanga <i>et al.</i> (2021)
<i>Lutjanus peru</i> (Pargo)	La Paz, BCS	22.1	Pérez-Rojo (2022)
<i>Merluccius productus</i> (Merluza)	Norte del Golfo de California	0.12	Bergés-Tiznado <i>et al.</i> (2022)
<i>Carcharhinus limbatus</i> (Tiburón cabeza de pala)	Arrecife Santiaguillo, Veracruz	0.06	Montoya-Mendoza <i>et al.</i> (2023)
<i>Sphyrna tiburo</i> (Tiburón)	Litoral de Campeche	0.67	Esparza-May <i>et al.</i> (2023)
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (Cazón)	Litoral de Campeche	0.39	Baños-Baños <i>et al.</i> (2023)



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Beneficios del cobre

El Cu es un elemento esencial que, a niveles bajos, ayuda a mantener una buena salud, contribuyendo a diferentes funciones metabólicas como la formación del tejido conectivo, formación de melanina, producción de tiroxina en la glándula tiroides, esencial en el metabolismo del hierro y sistema inmunitario, por eso es necesario para la vida humana (Tábora, 2017; Feoktistova y Feoktistova, 2018).

En cuanto a la cantidad promedio recomendada de ingesta para Cu es de 0.9 mg para adultos mayores a 19 años de edad, una alimentación variada suele cubrir estos requerimientos, siendo el límite máximo tolerable de 10 mg (ODS, 2023).

Efectos negativos del cobre en la salud humana

La exposición al cobre en un largo periodo puede ser perjudicial, ya que puede ocasionar irritación en la nariz, boca, ojos, dolor de estómago y cabeza, mareo, náusea y diarrea; aún no se ha determinado que sea cancerígeno, pero su consumo excesivo puede causar daño al hígado y los riñones (ATSDR, 2004; Rodriguez-Heredia, 2017) Sin embargo, la deficiencia de este elemento puede causar daños a la salud humana; con un funcionamiento inadecuado de las enzimas, anomalías óseas, defensas debilitadas y problemas en el desarrollo del sistema nervioso central (Torres-Peters, 2002).

Escala de efectos posibles de concentraciones de cobre (Fig. 1).

- Niveles bajos de Cu impiden la aceleración de una proteína vital y producirá una falla metabólica (deficiencia de Cu).
- Si los niveles de Cu son adecuados, se unirá a la proteína y cumplirá su función.
- Si los niveles aumentan por encima de lo que la célula necesita, entran en riesgo los mecanismos de regularización.
- Cuando los mecanismos regulatorios se sobrecargan, el exceso de cobre provoca inactivaciones y actúa como toxina.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

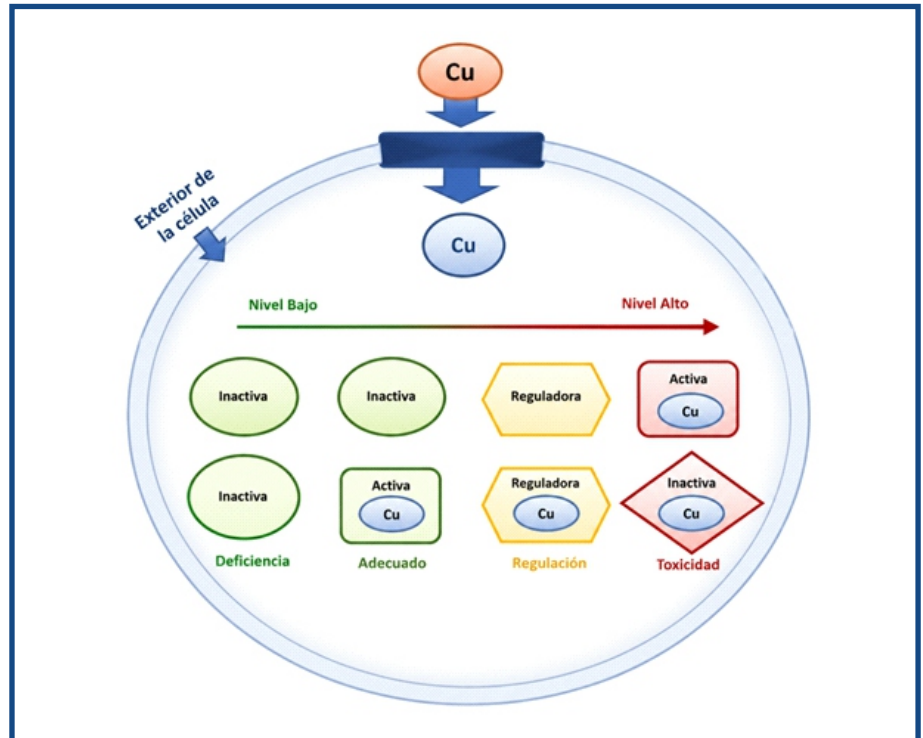


Figura 1. Escala de efectos posibles de concentraciones variables de cobre al interior de la célula. Esquema tomado de Torres-Peters (2002).

Cobre y la enfermedad de Wilson

La enfermedad de Wilson es una enfermedad hereditaria (heredada del padre o de la madre), se caracteriza por la acumulación tóxica en el organismo de Cu procedente de la alimentación. Los principales síntomas son cansancio, pérdida de apetito o molestias abdominales. Puede manifestarse como enfermedad hepática, renal, cardíaca, neurológica o psiquiátrica (Figura 2) (Moreira y López San Román, 2010).

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

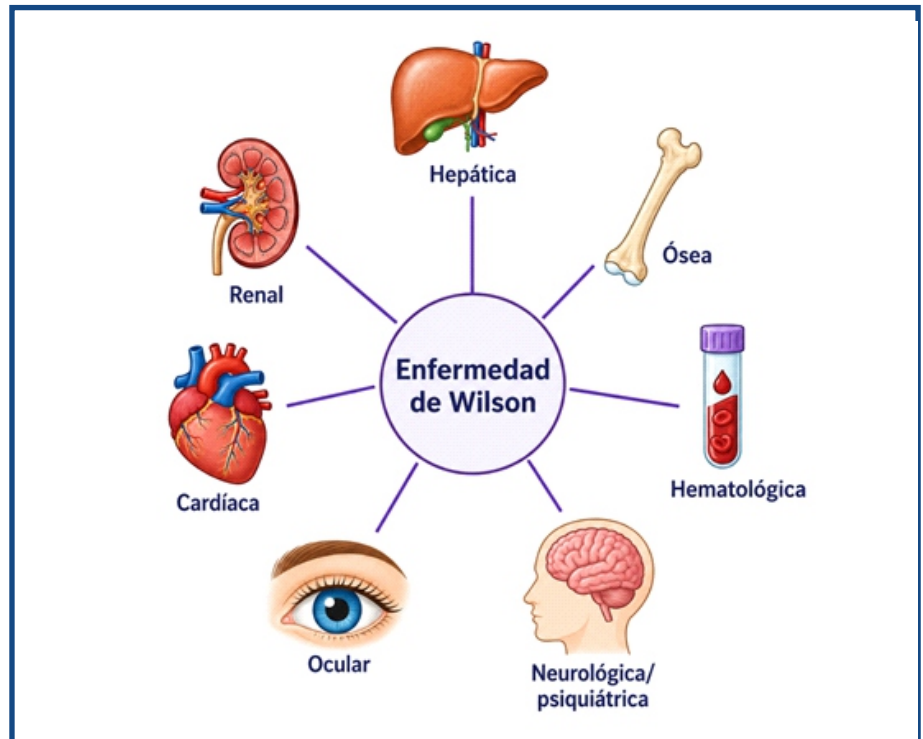


Figura 2. Manifestaciones clínicas de la enfermedad de Wilson.

► CONCLUSIÓN

Es importante para la sociedad tener el conocimiento de la calidad de los productos marinos que se consume en la región, así como los posibles efectos que pueden generar estos organismos en la salud humana. Por tanto, se requiere seguir realizando estudios que monitoreen los niveles de metales u otros contaminantes que puedan estar presentes en los tejidos de los organismos marinos, ya que estos pueden ser un riesgo para la salud humana.

► LITERATURA CITADA

Álvaro-Berlanga, S., Calatayud-Pavía, C. E., Cruz-Ramírez, A., Soto-Jiménez, M. F., Liñán-Cabello, M. A. (2022). Trace elements in muscle tissue of three commercial shark species: *Prionace glauca*, *Carcharhinus falciformis*, and *Alopias pelagicus* off the Manzanillo, Colima coast, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, 28:22679–22692. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12234-5>

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



ATSDR. (2004). Copper División of Toxicology T, (Vol. CAS # 7440-50-8): Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ASTDR) Agency for Toxicity Substance and Disease Registry.

Balderrama-Carmona A. P., Bisher-Álvarez Y., Silva-Beltrán N., Ayala-Parra P., Ortega-Fonseca, F. (2018). Estimación del riesgo a la salud por consumo de *Oreochromis niloticus*, agua de grifo, agua superficial y sedimentos de presa, contaminados con metales pesados en comunidades cercanas a una mina de cobre y a la presa Adolfo Ruiz Cortines, Sonora, México. *Revista Bio Ciencias*, 6 (n e s p) : e 5 2 2 .
<https://doi.org/10.15741/revbio.06.nesp.e522>

Baños-Baños, J. J., Bojórquez-Sánchez, C., Bergés-Tiznado, M. E., Páez-Osuna, F., Torres-Rojas, Y. E. (2023). Concentración de oligoelementos metálicos (cobre y zinc) en músculo e hígado del cazón picudo del Atlántico (*Rhizoprionodon terraenovae*), capturado en el litoral de Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94 .
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4265>

Bergés-Tiznado, M. E., Bojórquez-Sánchez, C., Acosta-Lizárraga, L. G., Zamora-García., O. G., Márquez-Farías, J., F., Paez-Osuna, F. (2022). Tissue dynamics of potential toxic elements in the Pacific hake (*Merluccius productus*): distribution and the public health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research* 29 : 7 7 9 4 5 – 7 7 9 5 7
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-21325-4>

Castañé P. M., Topalián M. L., Cordero R., Salibián A. (2003). Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad, 20: 13-18.

Díaz-Báez, M., Bustos-López, M. C., Espinosa-Ramírez, A. J. (2004). Pruebas de toxicidad acuática: fundamentos y métodos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 118 p.

Esparza-May, T., Berges-Tiznado, M, E., Bojórquez-Sánchez, C., Torres-Rojas, Y, E., Paez-Osuna, F. (2023). Primer registro de concentración de zinc y cobre en *Sphyrna tiburo*: bioindicador de la salud de la costa de Campeche, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 39, 583-594.
<https://doi.org/10.20937/RICA.54635>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Feoktistova V. L., Feoktistova, C. Y. (2018).** El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *Medisur*, 16(4), 579-587.
- Frías-Espericueta, M. G., Osuna-López, J. I., Voltolina, D., López-López, Izaguirre-Fierro, G., Muy-Rangel M. D. (2008).** The metal content of bivalve mollusks of a coastal lagoon of NW Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80: 90-92.
- García-Hernández, J., Espinosa-Romero, M. J, Cisneros-Mata, M. A., Leyva-García, G., Aguilera-Márquez, D., Torre-Cosío, J. (2015).** Concentración de mercurio y plaguicidas organoclorados (POC) en tejido comestible de jaiba café *Callinectes bellicosus* de las costas de Sonora y Sinaloa, México. *Ciencia pesquera*, 23: 65-79.
- González-Dávila, O., Gómez-Bernal, J. M., Ruíz-Huerta, E. A. (2012).** Plants and soil contamination with heavy metals in agricultural areas of Guadalupe, Zacatecas, Mexico. *Environmental Contamination*, 37-50.
- Ivanina, A. V., Sokolova, I. M. (2015).** Interactive effects of metal pollution and ocean acidification on physiology of marine organisms. *Current Zoology*, 61(4): 653-668.
- Manahan, S. E. (2007).** Introducción a la química ambiental. Ed. Reverté. México, 725 p.
- Mancera-Rodríguez, N. J., Álvarez-León, R. (2006).** Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1): 3-23.
- Montoya-Mendoza, J., Lara Esparza, K. E., Castañeda-Chávez, M. R., Salgado-Maldonado, G., Lango-Reynoso, F. (2023).** Metales pesados en tejidos y céstodos intestinales del tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus* (Müller y Henle, 1839) del arrecife Santiaguillo, PNSAV, Veracruz, México. *Biología, Ciencia y Tecnología*, 16, 1188 - 1193. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082e.2023.16.86420>
- Moreira, V. F., López San Román. (2010).** Enfermedad de Wilson. Servicio de Gastroenterología. Hospital Universitario Ramón y Cajal. Madrid. *Revista Española de Enfermedades Digestivas*. Vol. 102. N.º 1, p. 55



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- ODS (2023).** Office of Dietary Supplements. National Institutes of Health. Cobre. Última revisión, 18 octubre del 2022.
- Penicaud, V., Lacoue-Labarthe, T., Bustamante, P. (2017).** Metal bioaccumulation and detoxification processes in cephalopods: a review. *Environment Research*, 155: 123-133.
- Pérez-Rojo, M. P. (2022).** Biomagnificación e impacto de metales pesados en la salud del huachinango del Pacífico *Lutjanus peru*, en el puerto minero de Santa Rosalía, B.C.S., México e implicaciones de ingesta en humanos. Instituto Politécnico Nacional. Tesis Doctorado en Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur. 91 p.
- Rajeshkumar, S., Munuswamy, N. (2011).** Impact of metal on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of milk fish (*Chanos chanos*) of Kaattuppalli Island, South East Coast, India. *Chemosphere*, 83: 415-421.
- Rodríguez-Heredia, D. (2017).** Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372-3385.
- Ruelas-Inzunza, J. R., Escobar-Sánchez, O., Páez-Osuna, F. (2014).** Mercury in fish, crustaceans and mollusks from estuarine areas in the Pacific Ocean and Gulf of Mexico under varying human impact en book: Fisheries Management of Mexican and Central American Estuaries. 3: 39-44. DOI:10.1007/978-94-017-8917-2_3.
- Sadeghi, O., Tavassoli, N., Amini, M. M., Ebrahimzadeh, H., Daei, N. (2011).** Pyridine-functionalized mesoporous silica as an adsorbent material for the determination of nickel and lead in vegetables grown in close proximity by electrothermal atomic adsorption spectroscopy. *Food Chemistry*, 127, 364–368. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.159
- Tábora, S. D. (2017).** Efecto del cobre y zinc en la comunidad microbiana del río Arkansas, Leadville, Colorado, Estados Unidos.
- Torres-Peters, J. C. (2002).** Cobre, medio ambiente y Salud. Comisión chilena de cobre. Una conexión vital. 87 p.
- Traverso-Judith, Avdalov-Nelson. (2014).** Beneficios del consumo de pescado. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección Nacional de Recursos Acuático. 39 p.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Valle-López, F. L. (2021). Biomagnificación, bioacumulación diferencial de metales pesados en tejidos y órganos e impacto en la condición de salud del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en Santa Rosalía B.C.S. Tesis Doctorado en Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur. 97 p.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



CREATIVE COMMONS





Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Revisión Científica

Effects of the presence of plastic debris in the marine environment



Efectos de la presencia de plásticos en el medio marino

 1. Jazmin Juárez-Lizárraga
 0009-0007-1789-6594



Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 2. Rosa S. Navarro-Peraza
 0000-0001-6835-4743



Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 3. Francisco Flores-Cárdenas
 0009-0005-8088-1008

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 4. Diana J. López Peraza
 0000-0002-7344-4134

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

 5. Jesús M. Quintero-Alvarez
 0009-0002-7642-2931

Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Mazatlán, Sinaloa México.

Corresponding author: tramitesdocto@gmail.com

Recibido 29 de abril 2026

Aceptado 3 de junio 2026



Effects of the presence of plastic debris in the marine environment

Efectos de la presencia de plásticos en el medio marino

▶ ABSTRACT

The expansion of human settlements along coastal areas has led to a substantial increase in the use of non-biodegradable plastics, many of which are improperly discarded into the environment. Over time, these plastic wastes undergo weathering processes, resulting in the formation of microplastics and nanoplastics. The primary sources of these pollutants are anthropogenic activities occurring on the continental shelf and in oceanic environments. Today, the impacts of plastic pollution are evident in terrestrial and marine plants, food webs, and the accumulation of large artificial debris patches in the world's oceans. Addressing plastic debris has become an urgent priority to reduce and mitigate plastic pollution in marine ecosystems and to minimize its adverse effects on biota.

Keywords: microplastics, plastic, pollution, trash islands

▶ RESUMEN

La expansión de los asentamientos humanos en las regiones costeras ha incrementado significativamente la producción y el consumo de plásticos no biodegradables, los cuales son liberados de manera inadecuada al medio ambiente. A través de procesos de degradación física, química y biológica, los residuos plásticos se fragmentan progresivamente en microplásticos y nanoplasticos. Las actividades antropogénicas asociadas tanto a la plataforma continental como a los



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



ambientes oceánicos constituyen las principales fuentes de estos contaminantes. Las consecuencias ambientales de la contaminación por plásticos son cada vez más evidentes, afectando a las comunidades terrestres y marinas, las interacciones tróficas dentro de las cadenas alimentarias y contribuyendo a la formación de grandes acumulaciones de desechos flotantes en los océanos. En consecuencia, es urgente implementar estrategias eficaces para gestionar los residuos plásticos, para reducir y mitigar la contaminación marina por plásticos y minimizar sus impactos sobre la biota acuática.

Palabras clave: microplásticos, plásticos, contaminación, islas basura.

► INTRODUCCIÓN

Tanto el crecimiento poblacional de las últimas décadas como el consumismo global son factores determinantes que aceleran la demanda y el consumo de artículos de plástico, - ya sea por su versatilidad y su practicidad – el plástico es un agente causal por su mala gestión al ser vertido descontroladamente al medio marino (Thompson et al., 2024).

A partir de la aparición de la baquelita en 1907, se transformó la producción de plásticos modernos. Para la década de los 60, el plástico ya había sustituido a los materiales con altos costos como el vidrio y la madera; posteriormente durante la década de los 80, su consumo experimentó un incremento exponencial a nivel mundial (Li et al., 2023). Actualmente, se estima que se producen alrededor de 430 millones de toneladas de plástico al año, siendo más del 50% destinado a productos de un solo uso y solo el 10% es reciclado, el restante forma parte de un grave problema de contaminación global del cual se estima que alrededor de 11 y 14 millones de toneladas de plástico ingresan a los ríos, lagos y océanos siendo el ambiente marino el más afectado (Li et al., 2023).

La generación de estos residuos afecta principalmente el medio marino provocando efectos deletéreos tanto en los organismos acuáticos (alteraciones en la reproducción, crecimiento y respuestas inmunológicas entre otros) como en la salud humana. Por esta razón el



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



estudio de la contaminación por plástico es crucial ya que este material pone en riesgo la biodiversidad y la estabilidad ambiental y no es suficiente sólo comprender sus implicaciones sino encontrar soluciones que ayuden a mitigar esta amenaza global. Así que el objetivo del presente manuscrito es dar a conocer el estado de arte de la problemática del plástico mal gestionado y de la presencia de éste en los ambientes marinos y sus afecciones a la biota.

1. MICROPLÁSTICOS EN LOS OCÉANOS: CONTEXTO HISTÓRICO

Carpenter & Smith (1972) fueron los primeros en reportar la presencia de fragmentos de plástico flotando en la superficie del Mar de los Sargazos y del Atlántico Norte. Posteriormente en las décadas de 1980 y 1990 algunos estudios documentaron la presencia de plásticos en los estómagos de aves marinas en diversas regiones del mundo, por mencionar algunos podemos destacar las investigaciones realizadas en el hemisferio sur (Day et al., 1985) y en el Pacífico norte (Sileo et al., 1990). Durante este mismo periodo la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica alertó también de la presencia de plástico en los giros oceánicos (NOAA, 1988).

Posteriormente, Robards et al., (1995) demostraron que la ingesta de plástico en aves marinas aumentó significativamente con respecto a los estudios previos, estableciendo a estos organismos como bioindicadores de la contaminación plástica marina. Finalmente, en 1997 se descubrió una inmensa acumulación de residuos plásticos flotando en el giro subtropical del Pacífico Norte (Gran Mancha de Basura del Pacífico Norte, GPGP) y se documentaron los hallazgos mediante muestreos oceanográficos, alertando a la comunidad científica sobre la presencia de plásticos de diferentes tamaños (Moore et al., 2001). A partir de entonces, se han documentado un gran número de investigaciones relacionadas a la contaminación por residuos plásticos en los ecosistemas marinos y sus efectos, así como las concentraciones de macro plásticos y MPs en los giros oceánicos (“islas basura”).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

A partir de Thompson et al., (2004), comenzaron formalmente las primeras investigaciones sobre la presencia del plástico y demostraron que, más allá de estos fragmentos, existen fracciones más pequeñas a las que se denominó “Microplásticos” (MPs), que refiere a fragmentos y/o partículas de plástico de diámetro menor o igual a 5 mm. Posteriormente se descubrirían partículas menores a 1 μm que fueron denominados nanoplásticos (Lehner et al., 2019).

2. MPS: ¿QUÉ SON Y CÓMO SE CLASIFICAN?

Los MPs son partículas de plástico sólido (≤ 5 mm) compuestas de polímeros junto con aditivos funcionales añadidos, intencionalmente o no, durante su manufactura. Por su origen se clasifican en dos tipos: primarios y secundarios. Los primarios son gránulos y escamas fabricados como material de preproducción y destinados a ser añadidos a otro producto, por ejemplo, las microesferas en los cosméticos, pastas dentales, exfoliantes entre otros. Los secundarios provienen del producto de la abrasión o desgaste durante su uso y que son liberados al medio ambiente (Thompson et al., 2024).

Los MPs por su forma se clasifican en cinco grupos: fragmentos, fibras, espumas, pellets y películas (Fig. 1). Además, pueden ser catalogados de acuerdo a su composición química: Polietileno (PE), Polietileno de alta densidad (HDPE), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP), Cloruro de polivinilo (PVC) y Tereftalato de Polietileno (PET) (He et al., 2022).

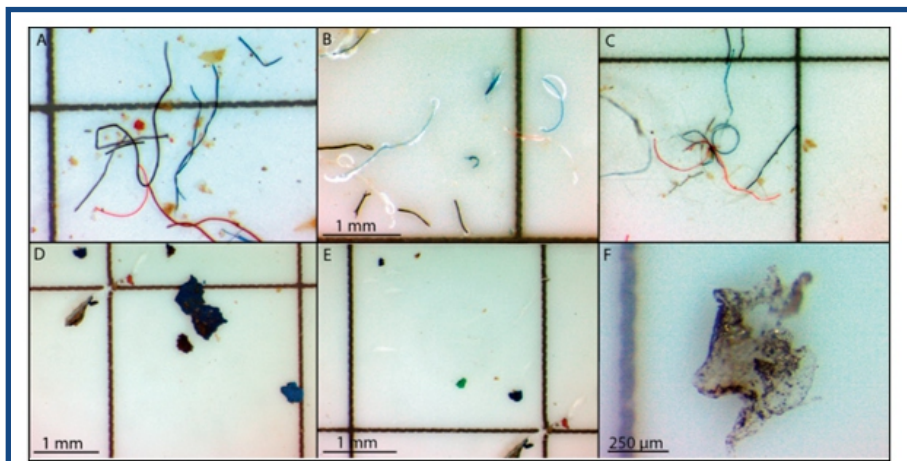


Fig. 1. Clasificación de microplásticos encontrados en zonas de playas. A-C. Fibras. D. Espuma. E. Fragmentos. F. Películas. Tomado de Lagos et al. (2023).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



3. FUENTES POTENCIALES DE MPs: ORIGEN

Las actividades antropogénicas en las costas son las principales actividades generadoras de residuos plásticos, las cuales dan origen a dos vertientes: origen continental y origen oceánico (Osman et al., 2023).

Aproximadamente, el 80% del plástico que llega a los océanos proviene de las actividades terrestres, siendo las fuentes principales las actividades agrícolas, industriales, las descargas de aguas residuales e industriales. Además de estas fuentes también están el desgaste de los neumáticos, algunos polvos y las cenizas de incineradores de plástico. Las principales rutas de distribución de plásticos son los ríos, arroyos, drenajes industriales y pluviales que alcanzan tarde o temprano el mar (Rochman, 2020). Algunos desechos plásticos transportados por el agua incluyen bolsas plásticas, productos para el cuidado personal, cosméticos, medicamentos, textiles, artículos de limpieza, desperdicios de botellas, contenedores para alimentos y bebidas, cubrebocas, guantes de nitrilo entre otros (Fadare et al., 2020).

Una vez alcanzado el mar, se ha estimado que el 20% de los MPs presentes en los océanos provienen de las actividades marítimas como la pesca comercial, buques, embarcaciones, incluyendo el turismo y de fuentes de contaminación puntuales o difusas a lo largo de la costa (Li et al., 2023; Karbalaeei et al., 2019).

Con respecto a las pesquerías, las redes utilizadas en las artes de pesca, son liberadas consciente o inconscientemente en los mares durante las tareas de extracción del producto pesquero (Dowarah y Devipriya, 2019). Se estima que más de 600,000 toneladas de líneas de pesca (compuestos de nailon, polietileno y polipropileno) son dejadas en los océanos cada año, estos artículos al ser descartados o perdidos en los mares, flotan en la superficie y a diferentes profundidades en el océano de acuerdo a su densidad (Naji et al., 2017), contribuyendo a la proliferación y disponibilidad de plásticos en el medio oceánico.

Así mismo, las actividades turísticas realizadas en las costas, particularmente en las playas, tiene un impacto negativo al ambiente, ya que generan desperdicios de plástico que son dejados en la arena y son sepultados y degradados por el medio ambiente para posteriormente formar MPs (Lusher et al., 2017).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

4. RESIDUOS PLÁSTICOS EN LOS OCÉANOS: PROBLEMÁTICA A GRAN ESCALA

Los mecanismos de transporte del plástico al océano incluyen el viento, las corrientes oceánicas y los gradientes verticales en el océano; mientras que los mecanismos biológicos incluyen las migraciones de especies marinas y la transferencia trófica. Los residuos plásticos eventualmente abandonaran la superficie del océano, llegando a mayor profundidad a través de la mezcla vertical, permitiendo el hundimiento de residuos más densos, a través de la bioincrustación, la agregación de materia orgánica densa (nieve marina), la migración animal y/o la integración en gránulos fecales denso. También pueden ser transportados por corrientes oceánicas más profundas y/o ser enterrados en los sedimentos. Los MPs presentes en los sedimentos y en organismos de aguas profundas, demuestran un flujo vertical de transporte a lo largo de la columna de agua, sin embargo, las concentraciones más altas se encuentran en la superficie debido a que suelen ser partículas con densidades muy bajas y además de tener mayor proximidad a los sitios de descarga o industrias que producen el plástico (Rochman, 2020).

Se estima que existen aproximadamente 13,000 fragmentos de desechos plásticos por cada kilómetro de océano. Una vez en la superficie del mar, estos materiales se degradan debido a la exposición continua de luz solar (UV), calor y humedad. Este deterioro químico en condiciones aeróbicas, sumado a la degradación física y mecánica, da origen a los microplásticos (Fig. 2) (Cuadra et al., 2023).

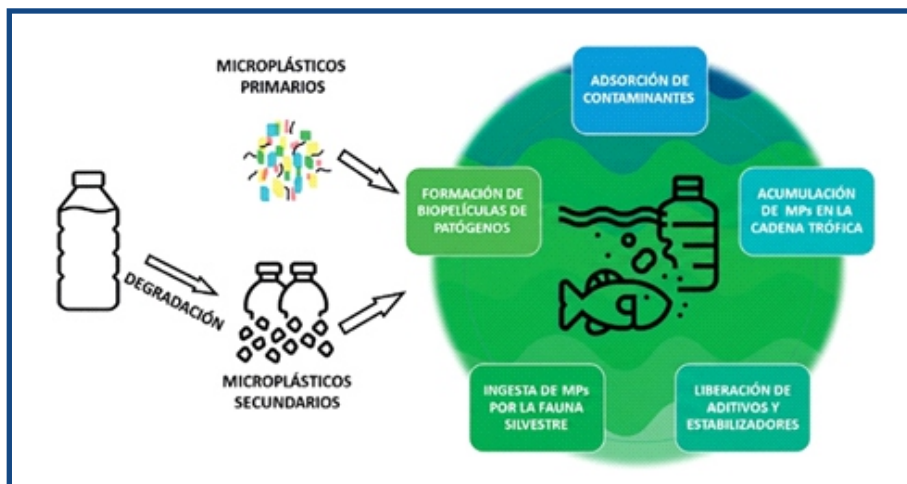


Fig.2. Ruta de formación de microplásticos en el ambiente marino. Tomado de Newrick et al., (2024)

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



5. EFECTOS DE LOS PLÁSTICOS EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS

5.1 Degradación y transferencia de contaminantes

Los MPs son capaces de adherirse a metales pesados y otros compuestos orgánicos en sus estructuras; lo anterior se debe a la flotabilidad de los MPs, ya que los deja expuestos a concentraciones de metales u otros contaminantes, que pueden incorporarse a la superficie del plástico por cargas eléctricas positivas o negativas y de acuerdo a la naturaleza de cada contaminante. Estas partículas son consumidas por diversos organismos tales como el fitoplancton, los moluscos, los crustáceos, las aves, los peces y los mamíferos, que al interior movilizan dichos metales en las cavidades digestivas bajo condiciones ácidas y como consecuencia los metales tienden a bioacumularse o pueden ser liberados de nuevo al agua en un estado soluble (disponible) y ser capturado por otra especie (Holmes, 2012).

Por mencionar algunos contaminantes asociados con los plásticos destacan los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), contaminantes orgánicos persistentes (COP), disruptores endocrinos (EDC) y metales pesados como el mercurio (Hg) o plomo (Pb), entre otros (Bravo et al., 2022).

La degradación del plástico puede seguir diversas rutas, óxica o anóxica; ambas rutas con el factor de la temperatura, lo cual propicia la ruptura y fragmentación del plástico (Gewert et al., 2015) convirtiéndose posteriormente estas partículas (Lehner et al., 2019). Los MPs y los nanoplásticos son fuentes potenciales en la producción de disruptores endocrinos, así como especies reactivas de oxígeno, los llamados “efectos perjudiciales”. El microplástico tiene la capacidad de acoplarse con metales pesados como el mercurio (Hg), y que causan graves efectos neurotóxicos provocando daños oxidativos en las especies que los consumen, debido a que, durante la digestión, las enzimas gástricas atacan estas partículas y favorecen la desorción y disolución de los compuestos absorbidos (Cuadra et al., 2023). Siendo este mecanismo el responsable de la bioacumulación, biotransferencia y biomagnificación de plástico y otros contaminantes en la trama trófica e inclusive alcanzar a los humanos (Valladolid-Garnica et al., 2023).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



5.2 Formación de “Islas de basura”

La dinámica oceánica y el viento son los principales vectores de distribución de todo tipo de residuos plásticos flotantes que al ingresar a los giros oceánicos concentran a los plásticos en las zonas de baja energía, formando lo que comúnmente se conocen como “islas basura” (Fig. 3) (Meléndez-Valencia & Meléndez-Torres 2013). Actualmente se conocen cinco “grandes manchas de basura”, que coinciden con los cinco giros más notables:

1. Gran Mancha de Basura del Pacífico Norte (GPGP): situada entre la costa oeste de Estados Unidos (entre California y Hawái) y Japón, es la mayor con aproximadamente 1.6 millones de km² y alberga alrededor de 1.8 billones de piezas de plástico (Mutuku et al., 2024).
2. Pacífico Sur: Ubicada entre Australia y Chile (Eriksen et al., 2017).
3. Atlántico Norte: Conocida por su alta densidad de residuos, situada entre la Costa este de E.E.U.U. y Europa (Courtene et al., 2022).
4. Atlántico Sur: entre la costa occidental del sur de África y el centro del Atlántico Sur, tamaño estimado 700,000 km² (Ryan, 2014).
5. Océano Índico: Localizada en el centro entre África y Australia (Connan et al., 2021).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

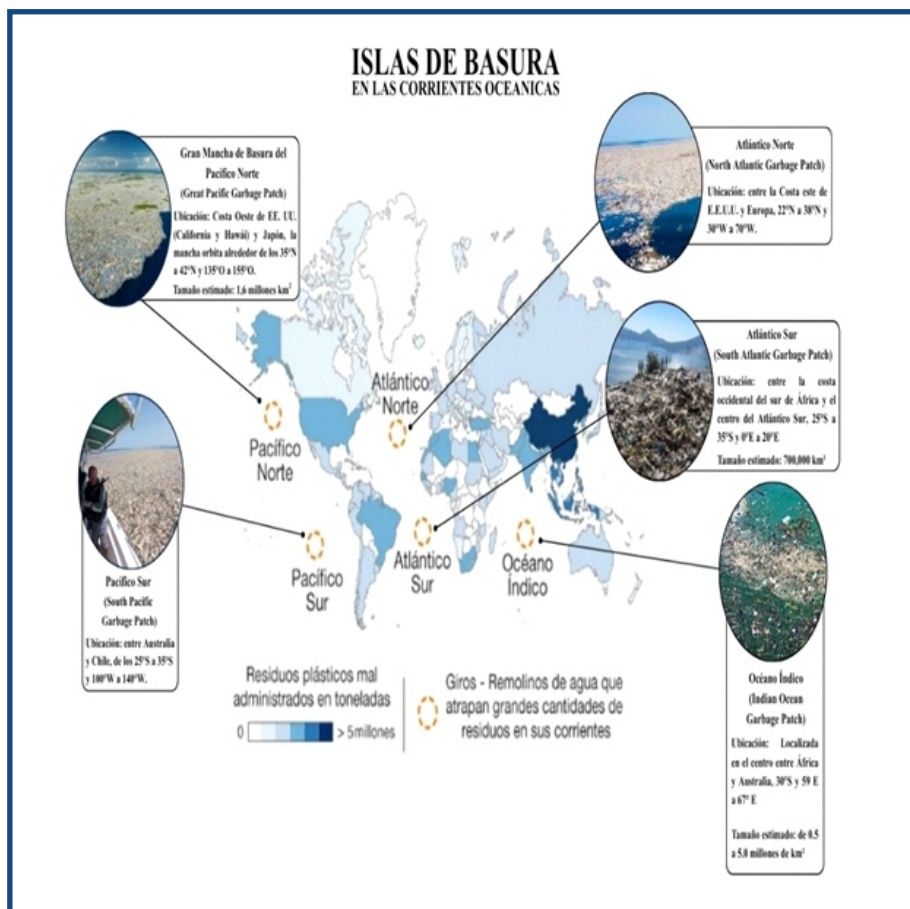


Fig 3. Distribución de las islas basuras alrededor del mundo. En la imagen se identifica la magnitud de la problemática del plástico en los océanos. Imagen de inteligencia artificial generada con ChatGPT.

El 99.9% de los residuos en estas islas son plásticos, y el restante son redes de pesca. El problema no es solo la cantidad acumulada, sino que estos plásticos se fragmentan en microplásticos, afectando gravemente a la fauna marina (Meléndez-Valencia & Meleéndez-Torres 2013).

5.3 Impactos en la fauna

La aglomeración de residuos plásticos puede provocar que algunas especies queden atrapadas en las denominadas “redes fantasmas” lo que provoca laceraciones en sus tejidos, enmalles, asfixia y daños físicos, provocando mortalidad, afectando las estructuras de las comunidades y, por consecuencia, cambios en las poblaciones marinas (Fig. 4) (Rochman, 2020).

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

La biodisponibilidad de MPs en los ambientes marinos provoca que organismos como aves, peces, organismos invertebrados, tortugas y organismos detritívoros, sean susceptibles a ingerirlos, ya que suelen confundidos con alimentos, lo que puede provocar atragantamientos por ingesta e inclusive una falsa saciedad por la presencia del plástico en los estómagos de los organismos marinos (Fig. 4) (Bergmann et al., 2015; Thompson et al., 2024).



Fig. 4. Afectaciones de los residuos plásticos en los organismos marinos. A. Acumulación de material orgánico e inorgánico. Oliver (2020). B. Enmallamiento de tortuga amarilla *Caretta caretta*, Herrera et al., (2017). C. Albatro joven con residuos plásticos en el sistema digestivo, Bergmann, et al., (2015). D. Foca gris con aro de plástico atado al cuello Bergmann, et al., (2015).

Los microplásticos alteran el comportamiento de las especies marinas, se ha demostrado que afectan la capacidad de alimentación y la movilidad en las medusas. La ingesta de microplásticos en las medusas reduce la frecuencia de pulsaciones, afectando negativamente su capacidad para cazar presas y para desplazarse, poniendo en riesgo la supervivencia con consecuencias en cascada para las cadenas tróficas y la dinámica de los ecosistemas (Mieles-Giler, 2024).

También se han registrado efectos adversos en mamíferos, tortugas, aves, peces, invertebrados e inclusive algas. Algunos efectos son alteración en la expresión genética, inflamación, conductas alimentarias anormales, reducción en crecimiento, disminución en la capacidad reproductiva, alteraciones en el desarrollo, menor tasa de supervivencia, reducción de las tasas de filtración y respiración (Rochman, 2020).

**OPEN ACCESS**

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

5.4 Bioacumulación y biomagnificación

Los MPS pueden transferirse a lo largo de la cadena trófica. Por ejemplo, el fitoplancton bioconcentra microplásticos y metales pesados presentes en el agua. Luego, al ser consumido por organismos de niveles tróficos superiores, estos contaminantes pasan a sus depredadores. Esto demuestra que los organismos actúan tanto como reservorios como transportadores de la contaminación por plásticos y metales pesados. (Soto-Jimenez et al. 2011)

Cientos de especies de diferentes niveles tróficos ingieren directamente fragmentos de plástico y microplásticos (Thompson, 2024) (Fig. 5), por lo que no es raro encontrar organismos que contienen plásticos en sus tractos gastrointestinales, comprobando que los residuos de plástico no se expulsan, mientras que los plásticos más pequeños pueden excretarse o, de igual manera, translocarse del intestino a diferentes partes del organismo. Sin embargo, aún no se ha demostrado si las concentraciones en los tejidos aumentan con el tiempo y a lo largo de las cadenas tróficas, por bioacumulación y biomagnificación (Valladolid-Garnica et al., 2023; Soto-Jiménez et al 2023)



Fig. 5 Efectos de la presencia de plásticos en el medio marino. (Imagen IA generada por chatGPT).

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



5.5 Alteración de los ciclos biogeoquímicos

Los ecosistemas de manglar son amenazados por la contaminación de residuos plásticos y MPs, ya que los manglares actúan como trampas naturales para los plásticos que se depositan entre sus raíces y sedimentos. Se ha documentado que existen alteraciones en las comunidades microbianas de la rizosfera, que incluyen cambios en la actividad metabólica, alterando los procesos biogeoquímicos de estos ecosistemas, lo que amenaza a diversas especies por considerarse criaderos naturales para diversas especies marinas (Jiménez et al., 2025). Del mismo modo, la contaminación por plástico y MPs, están relacionados con la asfixia en los arrecifes de coral y alteraciones en el fondo marino (Rochman, 2020).

De acuerdo a Galgani y Loisselle (2021), la acumulación de plástico en un entorno enriquecido con materia orgánica propicia aún más la proliferación microbiana y la liberación de polímeros orgánicos complejos en la interfaz aire-mar.

De acuerdo con Galgani y Loisselle (2021), los MPs pueden presentar los siguientes efectos en los sistemas marinos:

- a) Una disminución en la penetración de la radiación fotosintética para el crecimiento y fotosíntesis del fitoplancton.
- b) Reduce la producción de oxígeno y dióxido de carbono por la alteración de los procesos de producción / degradación.
- c) Crea una barrera más gruesa para el intercambio de gases entre el aire y el mar. Además, el carbono orgánico disuelto (COD) lixiviado de los plásticos propicia la actividad bacteriana heterótrofa y la reelaboración de la materia orgánica disuelta (MOD), con el consiguiente aumento de la respiración bacteriana y el consumo de oxígeno.
- d) Se transfiere carbono orgánico particulado (COP) al interior del océano y al fondo marino, al modificarse la flotabilidad de la biopelícula de la partícula de plástico, facilitando su flujo descendente que a su vez incorpora nutrientes adicionales, lo que favorece una mayor actividad microbiana y la liberación de compuestos orgánicos más complejos, como la materia orgánica disuelta refractaria (MODR), alimentando así un reservorio de carbono refractario a largo plazo en las profundidades.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



► CONCLUSIÓN

A pesar de que la vida moderna exige soluciones prácticas y versátiles, la realidad es que nos enfrentamos a una amenaza global inminente (contaminación por plástico), que propicia el desequilibrio en los sistemas acuáticos, donde se involucran las cadenas tróficas, las cuales tarde o temprano llegaran a impactar la salud del ser humano.

Bajo este escenario, las comunidades científicas investigan y cuantifican los daños que el plástico representa a nuestro planeta, incluyendo la cantidad de micro y nanoplásticos que asimilan los productores primarios, la evaluación de la transferencia por la red trófica y los factores de biomagnificación o biodisminución de los contaminantes plásticos. Lo anterior con la finalidad de conocer cuáles son los riesgos potenciales de ingerir un alimento de origen marino y los contenidos aproximados de plástico u otro contaminante. Por lo que es menester en la actualidad el no solo cuantificar los plásticos si no el realizar investigación a nivel laboratorio para elucidar el impacto cuantificable de los plásticos, MPs y nanoplásticos en la biota y conocer las especies más vulnerables y que sean de consumo humano.

Desde el punto de vista social, el realizar concientización del uso moderado de los plásticos y del correcto depósito de estos reducen significativamente la presencia de plástico en los océanos. También es necesario comenzar la labor de difusión en las etapas más tempranas en los estudiantes para que conozcan de primera mano la problemática del plástico y se fomente la campaña de uso de materiales no hechos a base de plástico como fibras de ixtle o de algodón. Además de propiciar la cultura de campañas de recolección de basura de plástico en áreas de aforo común como son las playas y los cuerpos de agua interior. Con la finalidad de reducir el aporte de plástico al mar y de perpetuar la limpieza y el equilibrio ecológico de la entidad.

Desde el punto de vista político-legislativo, se requiere de reforzar las campañas ecológicas en contra del uso de los plásticos tanto en super mercados como en las empresas embalajes de un solo uso. A pesar de que Sinaloa cuenta con una ley de cero tolerancia hacia los plásticos, aún



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



queda una sección de los consorcios que brindan bolsas plásticas durante las compras y lo cual debería continuar disminuyendo con la finalidad de reducir la presencia de los plásticos en los océanos.

Finalmente hacer valida la justicia social ante la problemática del plástico; ya que las poblaciones con mayor valor adquisitivo consumen más plástico y que se mal deposita y termina en vertederos al aire libre, donde parte de la comunidad marginada (bajos recursos) sobrevive y se encuentra directamente en contacto con este contaminante plástico y con una bastedad de otros contaminantes de tipo orgánico e inorgánico que acompañan a los plásticos. Ciertamente aun queda bastante camino por recorrer, pero los pequeños cambios que hagamos hoy, serán las mejores condiciones de vida para nuestros hijos en el futuro no distante.

▶ LITERATURA CITADA

Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M. (2015). *Marine anthropogenic litter*. Springer. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-16510-3.pdf>

Bravo, V., Leonel, P., Córdova-Mosquera, R. A., Delgado, R., & Alonso, E. (2022). Modelación del flujo de microplásticos y la interacción de contaminantes químicos orgánicos en sistemas acuáticos. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*. Vol 9. Num.2

Carpenter, E.J., and K.L. Smith. (1972).Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science* 175(4027): 1,240–1,241, <https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>.

Courtene-Jones, W., Clark, N. J., & Thompson, R. C. (2022). Plastic pollution: the science we need for the planet we want. *Emerging topics in life sciences*, 6(4), 333-337.

Connan, M., Perold, V., Dilley, B. J., Barbraud, C., Cherel, Y., & Ryan, P. G. (2021). The Indian Ocean 'garbage patch': Empirical evidence from floating macro-litter. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112559.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Cuadra, V., Lezcano, R., Bayard, C., Villarreal, J., Robinson-Duggon, J., & Miranda-Montenegro, M. L. (2023).** Los microplásticos en el entorno acuático: Un vistazo a la cinética, mecanismo de degradación, impacto ambiental y en la salud humana. *Revista Científica Vida Natural*. Volumen (1), 66-88.
- Day, R. H., Wehle, D. H. S., & Coleman, F. C. (1985).** Ingestion of plastic pollutants by marine birds. En R. S. Shomura & H. O. Yoshida (Eds.), *Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris* (pp. 344–386).
- Dowarah, K., & Devipriya, S.P. (2019).** Microplastic prevalence in the beaches of Puducherry, India and its correlation with fishing and tourism/recreational activities. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 123-133.
- Eriksen, M., Thiel, M., & Lebreton, L. (2017).** Nature of plastic marine pollution in the subtropical gyres. In *Hazardous chemicals associated with plastics in the marine environment* (pp. 135-162). Cham: Springer International Publishing.
- Fadare, O. O., Wan, B., Guo, L. H., & Zhao, L. (2020).** Microplastics from consumer plastic food containers: are we consuming it?. *Chemosphere*, 253, 126787. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126787>
- Galgani, L., & Loiseau, S. A. (2021).** Plastic pollution impacts on marine carbon biogeochemistry. *Environmental Pollution*, 268, 115598.
- He, Y., Wei, G., Tang, B., Salam, M., Shen, A., Wei, Y., ... & Mao, Y. (2022).** Microplastics benefit bacteria colonization and induce microcystin degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 431, 128524. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128524>
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (2015).** Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental science: processes & impacts*, 17(9), 1513-1521.
- Herrera, A., Liria Loza, A., Ostiategui, P., & Gómez, M. (2017).** Los microplásticos: la amenaza de los ecosistemas marinos. *Okeanos* (5). <https://acedacris.ulpgc.es/handle/10553/71275>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2012). Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environmental Pollution*, 160, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.052>
- Jiménez, I. D. C. T., Pinyui, Z. E. M., Espin, B. M. G., Urcuango, A. M. T., Chimbo, L. J. O., & Toapanta, A. F. T. (2025). Efectos de la contaminación por microplásticos en los ecosistemas marinos. *South Florida Journal of Development*, 6(4), e5141-e5141.
- Karbalaei, S., Golieskardi, A., Hamzah, H. B., Abdulwahid, S., Hanachi, P., Walker, T. R., & Karami, A. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in commercial marine fish from Malaysia. *Marine pollution bulletin*, 148, 5-15. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.072>
- Lagos, A. M., Leon, M., Colorado, A., Giraldo, D., Fragozo, L., Quiroga, S. Y., & Martínez, A. (2023). Effects of microplastics pollution on the abundance and composition of interstitial meiofauna. *Revista de Biología Tropical*, 71(1). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71il.50031>
- Mutuku, J., Yanotti, M., Tock, M., & Hatton MacDonald, D. (2024). The abundance of microplastics in the world's oceans: a systematic review. In *Oceans* (Vol. 5, No. 3, pp. 398-428). MDPI.
- Lebreton, L. C. M., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R., & Reisser, J. (2018). *Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. Scientific Reports*, 8, 4666. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environmental science & technology*, 53(4), 1748-1765. doi: 10.1021/acs.est.8b05512
- Li, C., Zhu, L., Li, W. T., & Li, D. (2023). Microplastics in the seagrass ecosystems: A critical review. *Science of the Total Environment*, 902, 166152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166152>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017).** Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. FAO.
- Meléndez-Valencia, M. A., & Meléndez-Torres, P. I. (2013).** Influencia de la circulación eólica y marítima en la formación de las islas de basura en el mundo. *Ciencia y sociedad*.
- Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S. A., & Dick Vethaak, A. (2017).** The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and pollution research*, 24(25), 20459-20468. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9587-z>
- Newrick, B. A., Laca Pérez, A., & Laca Pérez, A. (2024).** Mitigación mediante bacterias, hongos y organismos superiores de los impactos ambientales ocasionados por microplásticos en ecosistemas acuáticos. *Ingeniería del agua*, 28(3), 169-184. <https://doi.org/10.4995/ia.2024.21599>
- Oliver, B. A. (2020).** Ahogados en plástico. *Métode*, (104). <https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/ahogados-en-plastico-microplasticos-medio-marino.html>
- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P.S., Wu, Y.S., Batumalaie, K., Gopinath, S.C.B., John, O.D., Sekar, M., Saika, T., Karunanithi, P., Hatta, M.H.M., Akinyede, K. A. (2023).** Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. *Environmental chemistry letters*, 21(4), 2129-2169. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
- Rochman, C.M. (2020).** The story of plastic pollution: From the distant ocean gyres to the global policy stage. *Oceanography* 33(3):60–70, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.308>.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004).** Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838. [DOI: 10.1126/science.1094559](https://doi.org/10.1126/science.1094559)



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Ryan, P.G. (2014).** Litter survey detects the South Atlantic 'garbage patch'. *Marine pollution bulletin* 79 (1-2), 220-224.
- Thompson, R., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., & Koelmans, A. (2024)** 'Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned?', *Journal of Bio-X Research*, 386(6720). [DOI: 10.1126/science.adl274](https://doi.org/10.1126/science.adl274)
- Mieles-Giler, J. W. (2024).** Efectos de la Contaminación Plástica en los Ecosistemas Marinos: Un Actualizado. *Horizon Journal*, 2(3), Análisis Nexus 18 30. <https://doi.org/10.70881/hmj/v2/n3/2>
- Soto-Jiménez, M. F., Arellano-Fiore, C., Rocha-Velarde, R., Jara-Marini, M. E., Ruelas-Inzunza, J., & Páez-Osuna, F. (2011).** Trophic transfer of lead through a model marine four-level food chain: *Tetraselmis suecica*, *Artemia franciscana*, *Litopenaeus vannamei*, and *Haemulon scudderi*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 61(2), 280-291.
- Soto-Jiménez, M. F., Valladolid Garnica, D. E., Torres-Rojas, Y. E., Jara Marini, M. E., & Muro-Torres, V. M. (2023).** Trophodynamics of Arsenic, Mercury, and Selenium in the Food Webs of the Southeastern Gulf of California. *Mercury, and Selenium in the Food Webs of the Southeastern Gulf of California*.
- Valladolid-Garnica, D. E., Jara-Marini, M. E., Torres-Rojas, Y. E., & Soto-Jiménez, M. F. (2023).** Distribution, bioaccumulation, and trace element transfer among trophic levels in the southeastern Gulf of California. *Marine pollution bulletin*, 194, 115290.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Revisión Científica

Residuos sólidos urbanos en ambientes costeros y marinos: clasificación, dinámica y manejo sostenible.

Urban solid waste in coastal and marine environments: classification, dynamics, and sustainable management



latindex



CREATIVE COMMONS

DIAMOND
OPEN ACCESS

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original

1. Carolina Delgado-Alvarez

0000-0003-0787-9997

Universidad Politécnica de Sinaloa.
Mazatlán, Sinaloa, México.
Estancias Posdoctorales por México, SECIHTI /
Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo (CIAD), Unidad Mazatlán.

Autor de correspondencia: cdelgado@upsin.edu.mx

2. Daniela Alvarado-Zambrano

0000-0001-5879-901X

Universidad Nacional Autónoma de México,
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Unidad Académica Mazatlán. Mazatlán,
Sinaloa, México. (Beneficiaria del programa
Estancias Posdoctorales por México, SECIHTI).

3. David Ulises Santos-Ballardo

0000-0001-5058-8621

Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, Mazatlán, Sinaloa, México.

4. Miguel Betancourt-Lozano

0000-0001-7267-4993

Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, Mazatlán, Sinaloa, México

5. Jessica Montoya-Aldecoa

0009-0001-7304-8377

Universidad Politécnica de Sinaloa. Mazatlán,
Sinaloa, México.

Recibido 11 de mayo 2026

Aceptado 8 de junio 2026



Residuos sólidos urbanos en ambientes costeros y marinos: clasificación, dinámica y manejo sostenible.

Urban solid waste in coastal and marine environments: classification, dynamics, and sustainable management

▶ RESUMEN

La generación de residuos sólidos urbanos en poblaciones costeras constituye uno de los desafíos ambientales más relevantes, particularmente por su contribución a la contaminación marina. El presente trabajo muestra una revisión de los fundamentos conceptuales, clasificación, impactos y estrategias de gestión de los residuos sólidos, con énfasis en su dinámica en ambientes costeros. Se analizan las fuentes terrestres de contaminación, los mecanismos de transporte hacia el océano y los efectos sobre la biodiversidad y la salud humana. Asimismo, se abordan enfoques como la economía circular y la gestión integral de residuos, con propuestas de líneas de acción para mejorar la gestión en las zonas costeras mexicanas.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, contaminación marina, ecosistemas costeros, economía circular, gestión de residuos.

▶ ABSTRACT

The generation of urban solid waste in coastal communities represents one of the most significant environmental challenges, particularly due to its contribution to marine pollution. This study presents a review of the conceptual foundations, classification, impacts, and management strategies of solid waste, with emphasis on its dynamics in coastal environments. The study analyzes land-based sources of pollution, transport mechanisms toward the ocean, and the effects on biodiversity and human health. In addition, approaches such as circular economy and integrated waste management are addressed, together with proposed lines of action to improve waste management in Mexican coastal zones.

Keywords: Municipal Solid Waste, Marine Pollution, Coastal Pollution, Coastal Ecosystems, Circular Economy, Waste Management.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



► INTRODUCCIÓN

El aumento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye una de las problemáticas ambientales contemporáneas más relevantes, la cual está estrechamente vinculada con el crecimiento poblacional, la urbanización acelerada y la transformación de los patrones de consumo. Este fenómeno no sólo implica un aumento de la cantidad de residuos generados, sino también una mayor complejidad en su composición, lo que dificulta su manejo y disposición. En este contexto, las zonas costeras se convierten en sistemas particularmente vulnerables, debido a su condición de áreas receptoras dentro de las cuencas hidrográficas. Desde una perspectiva hidrológica, estos sistemas funcionan como espacios “aguas abajo”, donde convergen materiales transportados desde zonas continentales a través de ríos, escorrentía superficial y sistemas de drenaje, en su paso hacia los ambientes estuarinos y marinos. Esta función de conectividad entre sistemas terrestres y marinos intensifica la vulnerabilidad de los ecosistemas costeros a los impactos derivados de una gestión inadecuada de los RSU. Si bien existe un amplio reconocimiento de los efectos de los residuos en ambientes costeros y marinos, gran parte de los estudios se han centrado en tipos específicos de contaminación, particularmente plásticos, lo que deja en segundo plano una visión integral que considere la diversidad de otros contaminantes asociados a los residuos sólidos urbanos, sus características y sus distintos mecanismos de impacto. En este sentido, resulta necesario analizar la problemática desde una perspectiva que integre su clasificación, su comportamiento ambiental y sus efectos diferenciados en los ecosistemas. Con base en lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo analizar los fundamentos conceptuales de los residuos sólidos urbanos en función de sus impactos y estrategias de manejo, con énfasis en su interacción con los asentamientos humanos y los servicios ecosistémicos de los ecosistemas marinos y costeros.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



2. ¿Qué son los residuos sólidos urbanos?

En términos muy sencillos, los RSU, son aquellos que se generan en las ciudades. En términos técnicos, se definen como aquellos que se originan a partir de los desechos sólidos de un municipio, recolectados en hogares, oficinas, pequeñas instituciones, y empresas comerciales. Su composición y clasificación varían considerablemente entre los distintos municipios del mundo, pero sí se pueden definir fracciones biodegradables y no biodegradables, provenientes de materiales orgánicos e inorgánicos, respectivamente (Nanda y Berruti, 2021). Pueden clasificarse también según su composición y su potencial de aprovechamiento. En términos generales, según su composición, los residuos pueden agruparse en orgánicos e inorgánicos. Los residuos orgánicos, constituidos por restos de origen biológico (alimentos, papel y cartón, podas y excrementos, entre otros), son biodegradables y pueden reincorporarse al medio ambiente mediante procesos como el compostaje. En contraste, los residuos inorgánicos, como plásticos, electrónicos y metales, son más persistentes en el ambiente y, dependiendo de la tecnología disponible, pueden o no ser reciclados (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). En este sentido, según su potencial de aprovechamiento, estos últimos pueden clasificarse como reciclables, reutilizables o no valorizables. Desde el enfoque de economía circular, esta clasificación permite identificar materiales que pueden incorporarse a la cadena de valor, y reducir la presión sobre los recursos naturales y la generación de desechos (Kirchherr et al., 2017).

En el contexto de los ecosistemas marinos la composición de los residuos cobra especial relevancia. Diversos estudios han documentado que los residuos plásticos constituyen la fracción dominante de la basura marina debido a su alta durabilidad, baja densidad y capacidad de flotación, lo que facilita su transporte a largas distancias a través de corrientes oceánicas. Esta persistencia favorece la fragmentación en microplásticos, los cuales pueden ser ingeridos por organismos marinos, incorporarse a las cadenas tróficas y generar impactos ecológicos y potenciales riesgos para la salud humana (Eriksen et al., 2014).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Por todo lo anterior, la adecuada clasificación y separación de los residuos sólidos urbanos no solo tienen implicaciones operativas para su gestión, sino que también constituyen una base analítica clave para predecir su comportamiento e impactos en sistemas complejos como los ambientes marinos.

3. Generación y gestión de RSU: contexto global y en México

A nivel global, la generación de RSU ha mostrado una tendencia sostenida al alza en las últimas décadas, al alcanzar aproximadamente 2 mil millones de toneladas anuales, con proyecciones que estiman que puede llegar hasta 3.4 mil millones de toneladas para el 2050 en ausencia de cambios estructurales en los sistemas de producción y consumo (Kaza, et al., 2018). Este incremento no solo responde al crecimiento poblacional, sino también a la consolidación de patrones de consumo intensivos caracterizados por el uso generalizado de productos de corta vida útil, casi efímeros, particularmente en economías urbanas en expansión, además de la estrategia comercial denominada obsolescencia programada que diseña deliberadamente productos limitando su vida útil para incentivar su reemplazo (Bisschop et al., 2022).

En México, esta tendencia global se manifiesta de manera significativa. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se generan más de 120 mil toneladas de RSU al día, lo que equivale aproximadamente a 0.94 kg por habitante (SEMARNAT, 2020). Sin embargo, más allá del volumen generado, uno de los principales desafíos radica en las limitaciones estructurales de los sistemas de gestión, en particular en las etapas de recolección, separación y disposición final. De esta manera, dado el contexto nacional, una proporción considerable de los RSU no se gestionan adecuadamente ya sea por deficiencias en la cobertura de recolección o por su disposición en sitios que no cumplen con criterios ambientales como tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios con limitaciones operativas. Estas condiciones favorecen la dispersión de residuos en el entorno lo que incrementa la probabilidad de que sean transportados hacia cuerpos de agua mediante procesos como la escorrentía superficial o los sistemas de drenaje.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



A esta problemática se suma la falta de separación en la fuente y de esquemas eficientes de recolección diferenciada, lo que propicia la mezcla de residuos con características distintas. En particular, residuos que requieren manejo especial como pilas y baterías, suelen integrarse al flujo de RSU con el consecuente riesgo de liberación de sustancias peligrosas, como el Cd, Hg, Li, Ni, y Pb, lo que agrava los impactos ambientales asociados a su disposición inadecuada (Ali et al., 2019). Por ello, la inadecuada disposición, recolección y tratamiento de los residuos favorece su movilización a través de distintos vectores ambientales, como la escorrentía superficial, los sistemas de drenaje, las corrientes fluviales y de aire que establecen un vínculo directo entre las actividades en tierra y los ecosistemas acuáticos (Jambeck et al., 2015). Este proceso adquiere especial relevancia en zonas costeras donde los materiales transportados desde las cuencas hidrográficas tienden a concentrarse, lo que incrementa la presión sobre estos sistemas altamente vulnerables.

4. Fuentes y rutas de transporte de residuos sólidos urbanos hacia ecosistemas costeros y marinos

Como se mencionó anteriormente, los RSU que alcanzan los ecosistemas costeros y marinos provienen predominantemente de fuentes terrestres, resultado de la estrecha interconexión entre las zonas continentales interiores, los sistemas urbanos y los ambientes acuáticos. Entre las principales fuentes de RSU se encuentran las actividades urbanas, industriales y turísticas cuya dinámica de generación en áreas densamente pobladas, sumada a sistemas de gestión ineficientes, incrementa la probabilidad de que estos materiales se dispersen en el ambiente. En particular, los residuos dispuestos de manera inadecuada en espacios abiertos o en sitios no controlados pueden ser fácilmente movilizados por agentes naturales como el viento y la lluvia, lo que facilita su ingreso a sistemas de drenaje y cuerpos de agua (United Nations Environment Programme, 2021).

Las rutas de transporte de los RSU hacia el medio marino son diversas y están determinadas por factores hidrológicos, geomorfológicos y antrópicos. La escorrentía superficial constituye un mecanismo clave, especialmente durante las lluvias, ya que arrastra residuos desde superficies urbanas hacia alcantarillas, canales y ríos. Estos, a su vez, actúan como corredores de transporte que conectan las cuencas hidrográficas con las zonas costeras (Lebreton et al., 2017).



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Asimismo, los sistemas de drenaje urbano desempeñan un papel relevante en la movilización de residuos, especialmente en ciudades con infraestructura insuficiente o sobrecargada. Durante eventos de lluvia intensa los sistemas de alcantarillado pueden colapsar y facilitar la descarga directa de residuos en cuerpos de agua cercanos. Este fenómeno es especialmente crítico en regiones con rápido crecimiento urbano y planeación territorial y ambiental limitada (United Nations Environment Programme, 2021).

En zonas costeras, factores adicionales como el turismo, la actividad pesquera y el desarrollo urbano intensivo contribuyen de manera significativa a la generación local de residuos. La acumulación de RSU en playas y áreas litorales no solo responde al transporte desde el interior, sino también a fuentes directas asociadas a actividades humanas en la franja costera, por ejemplo las “redes fantasma” generadas por actividades de pesca, que son las artes de pesca abandonadas, perdidas, o desechadas, pero que continúan atrapando y matando a la vida marina con impactos directos (pérdida de biodiversidad, destrucción del hábitat, y pérdidas económicas) e indirectos (degradación ambiental y sostenibilidad de pesquerías) (Wasave et al., 2025). Estos residuos pueden ser posteriormente redistribuidos por corrientes marinas, mareas y vientos, lo que amplía su dispersión en el medio oceánico (Law, 2017). Es así que, la relación entre la dinámica de fuentes y rutas de transporte de los RSU evidencia que la contaminación marina no es un fenómeno aislado, sino el resultado de procesos interconectados que vinculan las actividades humanas en tierra con los sistemas marinos.

En la figura 1 se muestran procesos que integran diversas fuentes, mecanismos de transporte y zonas de acumulación, lo cual evidencia la transferencia de residuos desde los ambientes urbanos hacia las zonas costeras y marinas. Esta perspectiva resalta la necesidad de abordar la gestión de residuos desde un enfoque integral de cuenca que considere tanto las fuentes de generación como los mecanismos de movilización y acumulación en ambientes costeros.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Figura 1. Fuentes y rutas de transporte de RSU hacia ecosistemas costeros y marinos. **Nota:** La figura fue generada mediante herramientas de inteligencia artificial (DALL·E) con fines ilustrativos, adaptada con la información propuesta en este estudio.

5. Impacto de los residuos urbanos en ecosistemas costeros y marinos

Los RSU afectan los ecosistemas marinos mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos que operan en distintos niveles ecosistémicos. Su impacto depende tanto del volumen como de la composición y el manejo de los residuos. En términos físicos, los plásticos provocan enredos, asfixia y daños internos en organismos marinos. Los residuos orgánicos pueden inducir procesos de eutrofización e hipoxia, alterando la estructura y funcionalidad de los ecosistemas; los residuos plásticos, además de generar efectos físicos directos sobre la fauna, actúan como vectores de contaminantes persistentes; mientras que los residuos peligrosos de origen urbano como pilas y baterías (que idealmente deberían manejarse de forma diferenciada, es decir, no deberían de estar ahí), con frecuencia son dispuestos inadecuadamente junto con los RSU debido a deficiencias en los sistemas de recolección y separación en países como México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020; Jambeck et al., 2015).

OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



En este contexto, la Tabla 1 sintetiza los principales tipos de RSU presentes en ambientes costeros y marinos, así como los contaminantes químicos y microbiológicos asociados con mayor frecuencia en zonas con vocación turística, pesquera e industrial, además de sus principales impactos ambientales y sanitarios.

Tabla 1. Principales residuos sólidos urbanos y contaminantes asociados en ecosistemas costeros y marinos

Categoría	Ejemplos	Contaminantes asociados	Impactos	Referencias
Orgánicos	Restos de alimentos, poda, residuos biodegradables	Nutrientes (N y P), materia orgánica	Eutrofización, hipoxia, proliferación algal, alteración de comunidades marinas y reducción de oxígeno disuelto	Breitburg et al., 2018; Jenny et al., 2016; Díaz et al., 2019
Plásticos	Botellas PET, bolsas, empaques, fibras sintéticas	Aditivos químicos, ftalatos, BPA y contaminantes adsorbidos	Generación de microplásticos, ingestión por fauna, enredos, transporte de contaminantes, efectos fisiológicos y transferencia en cadenas tróficas	Geyer et al., 2017; Law, 2017; Provencher et al., 2017.
Residuos peligrosos urbanos	Pilas, baterías, electrónicos, pinturas	Metales pesados (Pb, Hg, Cd, Ni), retardantes de flama	Toxicidad, bioacumulación, biomagnificación, daños neurológicos y afecciones inmunológicas	Jaishankar et al., 2014; Ali et al., 2019
Residuos industriales y portuarios mezclados con RSU	Aceites, combustibles, solventes	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), aceites lubricantes	Toxicidad en organismos marinos, deterioro de hábitats costeros y afectaciones fisiológicas	Honda & Suzuki, 2020; Kennish, 1997
Residuos sanitarios y domésticos	Lixiviados, drenaje urbano, residuos orgánicos	Microorganismos patógenos (<i>Escherichia coli</i> , <i>Enterococcus spp.</i> , <i>Salmonella spp.</i>)	Riesgos gastrointestinales, deterioro sanitario de playas y afectaciones a la salud pública	WHO, 2021; UNEP, 2021
Residuos con compuestos persistentes	Electrónicos, plásticos tratados, residuos industriales	PCB, dioxinas, compuestos orgánicos persistentes (COPs)	Persistencia ambiental, alteraciones endocrinas y biomagnificación	Rochman et al., 2013; UNEP, 2021



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Asimismo, en zonas costeras con alta capacidad turística, pesquera e industrial, los RSU constituyen una fuente importante de contaminantes químicos y microbiológicos que pueden incorporarse al ambiente marino a través de lixiviados, escorrentía superficial o descargas asociadas a sistemas urbanos. Entre los principales contaminantes identificados se encuentran metales pesados, hidrocarburos, compuestos orgánicos persistentes, microorganismos patógenos y bacterias indicadoras de contaminación fecal, cuya presencia representa riesgos para la biodiversidad, la calidad sanitaria del agua y la salud humana (UNEP, 2021; Ali et al., 2019). De manera particular, la fragmentación de plásticos en microplásticos facilita su incorporación en las cadenas tróficas marinas y favorece la transferencia de contaminantes químicos y microorganismos asociados, lo que incrementa la exposición humana a través del consumo de productos pesqueros. Diversos estudios han documentado su presencia en alimentos marinos destinados al consumo humano y sugieren posibles efectos relacionados con procesos inflamatorios, estrés oxidativo y transporte de sustancias tóxicas (Wright & Kelly, 2017; Catarino et al., 2018). A ello se suma la exposición a metales pesados provenientes de residuos peligrosos mal gestionados, cuyos efectos incluyen alteraciones neurológicas, daños renales y afectaciones al sistema inmunológico (Ali et al., 2019).

En estos escenarios se establece que la problemática de los RSU trasciende el ámbito ambiental y requiere enfoques integrales para atenderla. La interacción entre los diferentes tipos de residuos, sus rutas de transporte y sus efectos acumulativos resalta la necesidad de avanzar hacia modelos de manejo sostenibles que consideren establecer sistemas de gestión basados en la economía circular los cuales, a partir del aprovechamiento y reciclaje de los residuos, pueden contribuir a recuperar y regenerar el entorno ambiental, mejorar el suministro y calidad de los alimentos y, en consecuencia, el bienestar humano.

6. Retos en la gestión de residuos sólidos urbanos en zonas costeras

La gestión de RSU en zonas costeras enfrenta desafíos particulares derivados de la relación entre dinámicas urbanas, presión turística,



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



fragilidad ecológica y necesidades crecientes de servicios públicos. A diferencia de los sistemas urbanos interiores, las ciudades costeras deben atender no solo la generación ordinaria de residuos asociada a la población residente, sino también flujos variables vinculados al turismo, actividades portuarias y servicios recreativos. Esta condición incrementa la complejidad operativa del manejo de residuos y eleva el riesgo de dispersión hacia playas, estuarios, lagunas costeras y ecosistemas marinos (UNEP, 2021).

Uno de los principales aspectos por fortalecer es la coordinación institucional y la planificación intersectorial. La gestión de residuos involucra competencias compartidas entre distintas dependencias y niveles de gobierno, lo que vuelve indispensable consolidar mecanismos de colaboración, intercambio de información y planeación conjunta. El fortalecimiento de la gobernanza local, acompañado de capacidades técnicas y herramientas de seguimiento puede mejorar la eficiencia de las políticas públicas y facilitar estrategias preventivas de largo plazo (Kaza et al., 2018).

Otro desafío relevante es la infraestructura disponible para recolección, transferencia, valorización y disposición final. En diversas regiones costeras de México es evidente la necesidad de ampliar la cobertura, modernizar el equipamiento y adaptar las instalaciones al crecimiento urbano y turístico. La mejora de las rutas de recolección, las estaciones de transferencia y los sistemas de aprovechamiento permitiría reducir las pérdidas operativas y disminuir la probabilidad de que los residuos lleguen a cuerpos de agua cercanos (SEMARNAT, 2020).

En sitios turísticos costeros la estacionalidad de la generación de residuos puede incrementarse considerablemente durante temporadas vacacionales, fines de semana largos o eventos masivos. La influencia del turismo sobre la generación de residuos ha sido documentada en distintos contextos, donde los incrementos temporales en el número de visitantes se traducen en mayores volúmenes de residuos y una presión adicional sobre los sistemas de gestión. En México, un estudio realizado en Tabasco, documentó que la generación per cápita de residuos sólidos aumentó de 0.144 kg por persona al día durante la temporada baja a



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



0.188 kg por persona al día en temporada alta, lo que representa un incremento cercano al 31 % asociado al aumento de visitantes (Laines Canepa et al., 2012).

Patrones similares han sido observados en otros destinos turísticos del mundo. Asensio-Montesinos et al (2019) evaluaron la presencia de residuos en playas de la región de Alicante, España, durante primavera y verano (alta afluencia turística) y encontraron un incremento de 46.6 % en la presencia de residuos en temporada alta. Las principales categorías de fuentes y tipos de residuos fueron: plásticos mal dispuestos por visitantes > descargas de aguas residuales > actividades pesqueras en la costa. En playas insulares del Mediterráneo, Grelaud y Ziveri (2020) reportaron que las tasas de acumulación de residuos marinos durante la temporada turística alta fueron hasta 4.7 veces mayores que las registradas en temporada baja. Los autores también demostraron que la implementación de medidas de gestión específicas durante los periodos de mayor afluencia permitió reducir la acumulación de residuos en aproximadamente 52.5 %. Asimismo, estudios realizados en municipios costeros de Croacia identificaron una marcada variación estacional en la generación de residuos sólidos urbanos asociada a la actividad turística, llegando a registrarse incrementos de hasta el doble durante los meses de verano respecto a la temporada baja.

A pesar de la importancia económica del turismo en numerosos destinos costeros mexicanos, existe una limitada disponibilidad de estudios que documenten cuantitativamente la influencia de la afluencia turística sobre la generación de residuos sólidos urbanos. En consecuencia parte de la información disponible procede de reportes institucionales y notas periodísticas. Por ejemplo, en Acapulco, Guerrero, las autoridades municipales han reportado que durante periodos vacacionales la generación de residuos puede aumentar de aproximadamente 400–500 toneladas diarias a 600–800 toneladas por día. De manera similar, en Mazatlán, Sinaloa, autoridades municipales estimaron que durante la Semana Santa de 2026 la generación diaria de residuos podría incrementarse de aproximadamente 770–800 toneladas a más de 1,040 toneladas, equivalente a un aumento cercano al 40 %, debido a la



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



concentración de visitantes en playas, malecón y zonas hoteleras. Este comportamiento temporal requiere esquemas operativos flexibles que contemplen refuerzo de personal, ampliación de las frecuencias de recolección, campañas temporales de limpieza y jornadas de educación ambiental.

En un sistema mejor organizado se suma la necesidad de fortalecer la separación en la fuente y el reciclaje. Cuando los residuos orgánicos, reciclables y de manejo especial se mezclan desde el origen, disminuye la recuperación de materiales valiosos, aumentan los costos operativos y se reduce la vida útil de los sitios de disposición final. En zonas costeras, esta situación cobra especial relevancia, ya que materiales ligeros y persistentes, como los envases plásticos, pueden desplazarse con facilidad hacia el medio ambiente natural. La evidencia internacional muestra que la prevención, la separación domiciliar y la recolección diferenciada constituyen medidas clave para reducir la contaminación marina de origen terrestre (Jambeck et al., 2015; OECD, 2022).

También resulta importante considerar la expansión urbana y la cobertura equitativa de los servicios en asentamientos periféricos o de reciente crecimiento. En zonas donde se realizan desarrollos costeros, la velocidad del crecimiento urbano puede superar la capacidad de expansión de los servicios públicos, lo que genera áreas con atención parcial. Fortalecer la cobertura, integrar criterios de ordenamiento territorial y priorizar las zonas ambientalmente sensibles contribuiría a reducir los riesgos de disposición inadecuada en canales, manglares, humedales o zonas de inundación. En este sentido, la planeación territorial con enfoque de vulnerabilidad costera permite incorporar variables como la erosión litoral, la inundación por marejadas, el aumento del nivel del mar y la mayor exposición a eventos hidrometeorológicos extremos. Esto permitiría orientar la localización de infraestructura, optimizar las rutas de recolección y prevenir la acumulación de residuos en áreas de alto riesgo socioambiental.

Así, los retos en la gestión de RSU en zonas costeras evidencian que la problemática no depende únicamente del volumen de residuos generados, sino también de factores institucionales, territoriales y



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



socioeconómicos. Por ello, para superar estos desafíos, es necesario fortalecer las capacidades municipales, modernizar la infraestructura, incorporar esquemas de economía circular y diseñar políticas diferenciadas para los territorios costeros, así como la adopción de instrumentos de responsabilidad extendida del productor puede contribuir a redistribuir los costos y responsabilidades de la gestión de residuos a lo largo del ciclo de vida de los productos, incentivando el ecodiseño, la reducción de materiales de un solo uso y el fortalecimiento de cadenas de valorización y reciclaje.

7. Estrategias para una gestión sostenible de RSU en zonas costeras

La transición hacia modelos de economía circular representa una oportunidad para fortalecer la gestión de los residuos sólidos urbanos en zonas costeras. A diferencia del esquema lineal tradicional basado en extraer, consumir y desechar, la economía circular promueve la prevención de la generación de residuos, la prolongación de la vida útil de los productos, la recuperación de materiales y su reincorporación a los ciclos productivos. En territorios costeros, este enfoque adquiere especial relevancia debido a la estrecha relación entre las actividades urbanas y la conservación de los ecosistemas marinos, en la que una gestión preventiva puede reducir significativamente la fuga de residuos al medio ambiente (Geissdoerfer et al., 2017; UNEP, 2021).

Aunque el mejor residuo es aquel que no se genera, una primera línea de acción consiste en la prevención de la fuente, entendida como la reducción de residuos desde las etapas iniciales de diseño, producción y consumo. En términos operativos, esta estrategia puede materializarse mediante programas municipales de consumo responsable, incentivos para el uso de envases retornables, la promoción de compras públicas sostenibles y esquemas comerciales que prioricen productos reutilizables, recargables o de mayor durabilidad. De igual forma, la instalación de estaciones de relleno de agua potable en espacios públicos y zonas turísticas puede disminuir el uso de botellas desechables, mientras que campañas dirigidas a hogares, comercios y prestadores de servicios pueden fortalecer hábitos de compra orientados



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



a productos con menor empaque. En zonas costeras, estas acciones adquieren especial relevancia al reducir la presión sobre los sistemas municipales de recolección y disminuir la probabilidad de dispersión de materiales hacia playas, esteros y cuerpos de agua conectados con el mar (OECD, 2022; UNEP, 2021).

Dentro de este marco, destaca la reducción de los plásticos de un solo uso como una de las medidas con mayor potencial de impacto. Productos como bolsas, popotes, utensilios desechables, envases ligeros y empaques de corta vida útil representan una fracción importante de los residuos encontrados en playas y en ambientes marinos. La sustitución progresiva por alternativas reutilizables, compostables o con mayor contenido reciclado puede disminuir la generación de residuos persistentes y fortalecer cadenas de suministro más sostenibles (Jambeck et al., 2015; UNEP, 2021).

Otra área prioritaria es la valorización de residuos, mediante esquemas diferenciados según la composición de los RSU. En el caso de materiales reciclables, puede recomendarse instalar centros de acopio de proximidad, fortalecer las cadenas locales de reciclaje e integrar al sector recuperador informal en condiciones seguras y formalizadas. Para residuos orgánicos, la implementación de plantas de compostaje descentralizadas y/o de biodigestores comunitarios puede transformar restos de alimentos y de poda en fertilizantes o en energía útil para parques, la agricultura periurbana o los servicios municipales. En zonas costeras con alta actividad turística y comercial, estas medidas pueden reducir costos logísticos y generar empleos verdes locales (Kaza et al., 2018).

El avance hacia una gestión integral requiere políticas públicas orientadas a resultados medibles. Entre las propuestas más relevantes se encuentran metas municipales de reducción y reciclaje con indicadores anuales, ordenanzas para la separación obligatoria de grandes generadores, sistemas de trazabilidad digital de residuos, tarifas diferenciadas según la generación y el desempeño, así como observatorios ciudadanos que den seguimiento a los avances. En ciudades costeras estas políticas pueden complementarse con



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



certificaciones ambientales para playas y destinos turísticos que incorporen criterios de gestión de residuos (OECD, 2022).

De manera complementaria, la responsabilidad extendida del productor (REP) constituye un instrumento clave para redistribuir responsabilidades a lo largo de la cadena de valor. Su aplicación puede enfocarse en envases, empaques, muebles, electrónicos, pilas y productos de alto consumo en zonas turísticas. Bajo este esquema, fabricantes e importadores financian sistemas de recolección posconsumo, puntos de retorno, campañas de recuperación y el ecodiseño de productos más reciclables. La evidencia internacional muestra que los sistemas REP incrementan las tasas de recuperación y reducen los costos para los municipios cuando se cuenta con metas claras y mecanismos de supervisión (OECD, 2016).

En zonas costeras la implementación de programas de gestión basados en la economía circular contempla la construcción de alianzas territoriales entre municipios, el sector turístico, comercios, universidades, cooperativas de reciclaje y organizaciones comunitarias. Estas alianzas pueden impulsar programas de “playas cero residuos”, compras sostenibles para hoteles, eventos sin plásticos de un solo uso y esquemas de educación ambiental para visitantes. La colaboración entre actores fortalece la gobernanza local y mejora la imagen ambiental de los destinos. Adicionalmente, la incorporación de infraestructura verde y sistemas de retención de residuos en canales pluviales, humedales urbanos y cuerpos de agua puede contribuir a disminuir el transporte de residuos sólidos y microplásticos hacia ríos, estuarios y ecosistemas marinos. Estrategias como humedales artificiales, jardines de lluvia, franjas de vegetación ribereña, sistemas urbanos de drenaje sostenible y dispositivos de captura de residuos en canales de escorrentía han demostrado ser herramientas efectivas para interceptar contaminantes antes de que alcancen los ambientes costeros (Everard & Moggridge, 2012; Fletcher et al., 2015; Liu et al., 2021). Bajo este enfoque, una ruta viable consiste en establecer políticas públicas basadas en evidencia científica, instrumentos de responsabilidad compartida y soluciones basadas en la naturaleza, lo que permite avanzar hacia sistemas urbanos más eficientes, resilientes y compatibles con la conservación de los ecosistemas marinos.



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



▶ CONCLUSIÓN

Los residuos sólidos urbanos constituyen un desafío para la sustentabilidad en las zonas costeras. Su impacto varía según su volumen, composición, manejo y contexto territorial. La evidencia revisada indica que una gestión deficiente aumenta los riesgos ecológicos, sanitarios y económicos, especialmente en áreas con mucha presión urbana y turística. Por ello, es fundamental fortalecer modelos integrales enfocados en la prevención, separación en origen, valorización, infraestructura adecuada y coordinación institucional. En particular aplicar principios de economía circular es una opción viable para disminuir la fuga de residuos al entorno, mejorar la eficiencia de los sistemas urbanos y avanzar hacia territorios costeros más resilientes y sostenibles ambientalmente.

▶ LITERATURA CITADA

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019).** Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals. *Chemosphere*, 234, 409–421. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.067>
- Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., Randerson, P., & Williams, A. T. (2019).** Seasonal comparison of beach litter on Mediterranean coastal sites (Alicante, SE Spain). *Ocean & Coastal Management*, 181, (104914). <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104914>
- Bisschop, L., Hendlin, Y., & Jaspers, J. (2022).** Designed to break: planned obsolescence as corporate environmental crime. *Crime, Law and Social Change*, 78(3), 271-293. <https://doi.org/10.1007/s10611-022-10023-4>
- Breitbart, D. L., Levin, L. A., Oshlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G. S., Limburg, K. E., Montes, I., Naqvi, S. W. A., Pitcher, G. C., Rabalais, N. N., Roman, M. R., Rose, K. A., Seibel, B. A., ... Zhang, J. (2018).** Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371), eam7240. <https://doi.org/10.1126/science.aam7240>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W. G., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental Pollution*, 237, 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.069>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, 9(12), e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Everard, M., & Moggridge, H. L. (2012). Rediscovering the value of urban rivers. *Urban Ecosystems*, 15(2), 293–314. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0174-7>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Grelaud, M., & Ziveri, P. (2020). The generation of marine litter in Mediterranean island beaches as an effect of tourism and its mitigation. *Scientific reports*, 10(1), 20326. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77225-5>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
- Honda, M., & Suzuki, N. (2020). Toxicities of polycyclic aromatic hydrocarbons for aquatic animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1363. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041363>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Jenny, J.-P., Normandeau, A., Francus, P., Taranu, Z. E., Gregory-Eaves, I., & Lapointe, F. (2016). Urban point sources of nutrients were the leading cause of cultural eutrophication in Lake Geneva. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(45), 12655–12660. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605480113>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Kennish, M. J. (1997). *Practical handbook of estuarine and marine pollution*. CRC Press, Boca Raton, FL. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780203742488/practical-handbook-estuarine-marine-pollution-michael-kennish>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Laines-Canepa, J. R., Larios, C. Z., Treviño, M. E. M. V., & Sánchez, D. I. G. (2012). Basic diagnosis of solid waste generated at Agua Blanca State Park to propose waste management strategies. *Waste management & research*, 30(3), 302–310. <https://doi.org/10.1177/0734242X11415312>
- Law, K. L. (2017). Plastics in the marine environment. *Annual Review of Marine Science*, 9, 205–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060409>
- Lebreton, L. C. M., Van der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433–1456. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>
- OECD. (2016). *Extended producer responsibility: updated guidance for efficient waste management*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264256385-en>
- OECD. (2022). *Global plastics outlook: economic drivers, environmental impacts and policy options*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



- Provencher, J. F., Bond, A. L., Avery-Gomm, S., Borrelle, S. B., Rebolledo, E. L. B., Hammer, S., Mallory, M. L., & Van Franeker, J. A. (2017).** Quantifying ingested debris in marine megafauna: a review and recommendations for standardization. *Analytical Methods*, 9(9), 1454–1469. <https://doi.org/10.1039/C6AY02419J>
- Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., & Kaye, S. (2013).** Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(3), 1646–1654. <https://doi.org/10.1021/es303700s>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020).** Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021).** From Pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi: UNEP. <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>
- Wasave, S., Kamble, S., Kazi, T., Wasave, S., GB, S., & Sharma, A. (2025).** A bibliometric review on ghost fishing: Impacts on marine environment and governing measures. *Marine Pollution Bulletin*, 212, 117604. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117604>
- World Health Organization (WHO). (2021).** Guidelines on Sanitation and Health. Geneva: WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514705>
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017).** Plastic and human health: a micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original