

Año 11

Número 2

Número Especial 2025



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD



REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Ciencia y
Tecnología



CIB

CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL HORMERO, S.A.



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, es una publicación arbitrada de divulgación científica digital iniciativa del **CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE S.C. (CIBNOR-SECIHTI)**, Centro Público de Investigación de **SECIHTI**, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23096, Tel (612) 12 38484, <http://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/> aortega@cibnor.mx. Editor en Jefe responsable Dr. Alfredo Ortega-Rubio. Editores Ejecutivos: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez y Dr. José Arturo Sánchez Paz. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-100710152500-20; ISSN: 2448-7406. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de esta publicación sin previa autorización de los autores de este número de **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**.

Con deferente gratitud **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD** reconoce y agradece la colaboración de la Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco en la edición gráfica editorial para esta revista, de la Lic. Adriana Landa Blanco en la elaboración del Logotipo y del Lic. Oscar Fischer Dorantes en la elaboración y actualización de la página WEB.

Crédito Fotografía Portada: Urbain Alejandro Gutiérrez Castro

	Año 11	Número Especial	Agosto - Diciembre de 2025
Dr. Alfredo Ortega Rubio Director General			
Dr. Bernardo Murillo Amador Director de Gestión y Desarrollo Institucional			
Dra. Alejandra Nieto Garibay Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos			
Coordinadores Programas Académicos			
Dra. Danitzia Adriana Guerrero Tortolero Acuicultura			
Dra. Crisalejandra Rivera Pérez Ecología Pesquera			
Dr. Alejandro López Cortes Planeación Ambiental y Conservación			
Dr. Luis Guillermo Hernández Montiel Agricultura Zonas Áridas			
Coordinaciones			
M. en C. Jesús Alfredo De la Peña Morales Vinculación, Innovación y Transferencia de Conocimiento a la Sociedad (COVITECS)			
Dra. Paola Magallón Servín Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación (PACE)			
M. en C. Baudilio Acosta Vargas Coordinación de Atención Interna Especializada (CATIE)			
Ing. Edgar Yuen Sánchez Unidad de Tecnología de la Información y Comunicaciones			
Unidades Foráneas			
Dr. Raúl López Aguilar Unidad Guerrero Negro			
Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez Unidad Nayarit			
Dr. Alfredo Arreola Lizárraga Unidad Guaymas			
Ing. Juan Bautista Vega Peralta Unidad Hermosillo			
Administración			
CP. Martha Verónica González Velázquez Unidad de Administración y Finanzas			
CP. Roberto Picos García Subdirector de Finanzas y Contabilidad			
MC. Rafael Palomeque Morales Subdirector de Recursos Materiales y de Servicios			
CP. Juan Carlos González Cota Subdirector de Recursos Humanos			
CP. Liz Aleida Cota Almazán Subdirectora de Contabilidad			
MC. Luis Gómez Castro Subdirector de Planeación			
Lic. Carlos Félix Subdirector Jurídico			
Lic. Cinthya Castro Iglesias Jefa del Departamento de Extensión y Divulgación Científica			
Lic. Dalia Villavicencio Siqueiros Jefa del Departamento de Eventos			
Lic. Ana María Talamantes Cota Jefa del Centro de Información Biblioteca			
	Editorial.....		VII
	Artículos		
	El Golfo de Ulloa: hogar de pescadores y tortugas, conservarlo es compromiso de todos. Retana-Arellano, J.Z, C.A Salinas-Zavala, M.V. Morales-Zárate.....		1
	El cambio climático y las floraciones de algas nocivas (FAN): un desafío creciente para los ecosistemas acuáticos marinos. Norma Yolanda Hernández-Saavedra.....		12
	El riesgo del fenómeno de El Niño para las pesquerías marinas a escala mundial. Salvador E. Lluch-Cota y Daniel B. Lluch-Cota.....		39
	La pesquería de curvina golfina del Alto Golfo de California. Eugenio Alberto Aragón-Noriega.....		53
	Pérdida y desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de la pesca: valorización de residuos. Felipe Ascencio y Norma Y. Hernández-Saavedra.....		65
	Transformando pérdidas y desperdicio de alimentos de las pesquerías y cultivos acuícolas en oportunidades para la economía social y solidaria. Felipe Ascencio y Norma Y. Hernández-Saavedra.....		91
	Una mirada a la biogeoquímica del manganeso a través del sargazo. Paulina Annette Ortega-Flores, Elisa Serviere-Zaragoza, Lia Celina Méndez-Rodríguez		109
	Callos de hacha: del mar a tu mesa. M. Magali Gómez Valdez y Lucía Ocampo.....		121
	Medusas ante el cambio climático: reproducción, blooms y aprovechamiento. Mónica Reza.....		134
	Bosques submarinos de Baja California: hábitat y alimento del abulón. Elisa Serviere-Zaragoza, Alejandra Mazariegos-Villarreal, Elena Palacios-Metchenov, Lía C. Méndez-Rodríguez		157
	Vida sobre las rocas: el crecimiento de la cucaracha de mar (Chiton articulatus) y su plasticidad ante fenómenos como El Niño y La Niña. Carlos Valencia-Cayetano, Juana López-Martínez, Sergio García-Ibáñez, Jesús Guadalupe Padilla-Serrato.....		173
	La pesca ribereña y los recursos potenciales del noroeste de México: los Cangrejos Araña. Juana López-Martínez, Eloisa Herrera- Valdivia, Rufino Morales-Azpeitia, Sergio S. González-Peláez, Horacio Bervera-León, Edgardo B. Farach-Espinoza, Estefani Larios- Castro.....		185

Conociendo nuestras raíces: educación ambiental para la protección de los manglares. <i>Brayan Yahir de la Cruz Lopez, Paola Magallón Servín, Nancy Elizabeth Wence Partida y J. Jesús Bautista Romero.....</i>	210
Crisis de la vaquita y la totoaba en el alto golfo de California. <i>Marcelo V. Curiel-Bernal, Miguel Á. Cisneros-Mata, y E. Alberto Aragón-Noriega.....</i>	229
¿Qué les pasa a los pescados y mariscos cuando los cocinamos? <i>Patricia Hernández Cortés y Crisalejandra Rivera Pérez.....</i>	237
Microplásticos: su impacto en las redes tróficas marinas. <i>Edén Víctor Manuel Muro-Torres y Kenia Elizabeth Leonardo-Cruz.....</i>	269
La pesquería y cultivo del camarón en el Golfo de California ante el cambio climático. <i>Edgardo B. Farach-Espinoza, Juana López-Martínez, Hugo Herrera-Cervantes, Ricardo García-Morales, Carlos H. Rábago-Quiroz, Estefani Larios-Castro, Marco A. Porchas-Cornejo.....</i>	280
Oportunidades para el rescate y la conversión de subproductos de la pesca en productos de valor. <i>Liliana Rojo Arreola.....</i>	306
Técnicas de Biología Molecular para la Identificación Taxonómica en los Recursos Pesqueros. <i>Delia Irene Rojas Posada.....</i>	324
Número Completo.	



Av. Instituto Politécnico Nacional 195. Playa Palo de Santa Rita Sur
La Paz, B.C.S., México. C.P. 23096, Tel. (52) (612) 123-8484

Editorial

Recursos Naturales y Sociedad
2025. Vol. 11 (2): VII-VIII.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0000>

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Programa de Ecología Pesquera (PEP) del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) por su invaluable contribución a este Número Especial de RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD.

Este número conmemorativo reconoce el compromiso, la visión y la trayectoria del PEP, cuya labor científica ha fortalecido durante décadas el entendimiento, la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros de nuestro país. La presencia del Programa en las Unidades La Paz y Guaymas consolida un esfuerzo institucional que integra investigación de frontera, monitoreo ecosistémico, desarrollo tecnológico, innovación social y formación de recursos humanos altamente especializados.

La labor del Programa de Ecología Pesquera representa un eje fundamental dentro de las líneas estratégicas del CIBNOR, articulando estudios sobre los efectos de las actividades humanas en los sistemas socioambientales, la exploración de nuevas pesquerías, la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos ante el cambio global, la valorización de los productos pesqueros y el ordenamiento sustentable de las pesquerías. Esta amplitud temática ha permitido enriquecer la presente edición con artículos rigurosos, actuales y profundamente relevantes para la sostenibilidad marina en México.

Este Cuerpo de Editores felicita de manera distinguida a todas y todos los Autores y Coautores que participaron en la elaboración de los trabajos aquí publicados.



En nombre del equipo editorial de RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, reiteramos nuestro más profundo agradecimiento al Programa de Ecología Pesquera del CIBNOR por su compromiso, excelencia y colaboración constante.

Confiamos en que esta sinergia continúe fortaleciendo futuros esfuerzos editoriales, científicos y de divulgación, contribuyendo así a un país más consciente, informado y comprometido con el manejo responsable de sus recursos naturales.

Sinceramente,

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Editor Ejecutiva

Dr. José Arturo Sánchez Paz

Editor Ejecutivo

Dr. Alfredo Ortega-Rubio

Editor en Jefe

Invierno 2025

Editorial

Recursos Naturales y Sociedad
2025. Vol. 11 (1): IX-X.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0000>

We extend our most sincere appreciation to the Fisheries Ecology Program (PEP) of the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) for its invaluable contribution to this Special Issue of RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD.

This commemorative issue recognizes the commitment, vision, and trajectory of the PEP, whose scientific work has, for decades, strengthened the understanding, conservation, and sustainable use of our nation's fisheries resources. The Program's presence in both the La Paz and Guaymas units consolidates an institutional effort that integrates cutting-edge research, ecosystem monitoring, technological development, social innovation, and the training of highly specialized human resources.

The work carried out by the Fisheries Ecology Program represents a fundamental axis within CIBNOR's strategic lines, integrating studies on the effects of human activities on socio-environmental systems, the exploration of new fisheries, the vulnerability of marine ecosystems to global change, the valorization of fishery products, and the sustainable management of fisheries. This thematic breadth has enriched the present edition with rigorous, up-to-date, and highly relevant articles for marine sustainability in Mexico.

This Editorial Body extends its distinguished congratulations to all Authors and Co-authors who contributed to the works published herein.



On behalf of the editorial team of RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, we reiterate our deepest gratitude to the Fisheries Ecology Program of CIBNOR for its commitment, excellence, and ongoing collaboration.

We are confident that this synergy will continue to strengthen future editorial, scientific, and outreach efforts, thereby contributing to a more aware, informed, and committed country regarding the responsible management of its natural resources.

Yours sincerely,

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Executive Editor

Dr. José Arturo Sánchez Paz

Executive Editor

Dr. Alfredo Ortega-Rubio

Editor in Chief

Winter 2025

Editorial

Recursos Naturales y Sociedad
2025. Vol. 11 (2): XI-XII.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0000>

Número Especial del Programa de Ecología Pesquera — 50° Aniversario del CIBNOR

Las pesquerías constituyen uno de los pilares económicos, sociales y culturales más importantes de México. Con más de 11,000 km de litoral, el país alberga una extraordinaria diversidad de ecosistemas marinos y costeros que sustentan miles de empleos directos e indirectos, aportan alimentos esenciales e impulsan el bienestar de numerosas comunidades ribereñas. Sin embargo, este vasto patrimonio enfrenta presiones sin precedentes: cambio climático, sobreexplotación, pesca ilegal, contaminación creciente, eventos oceanográficos extremos, pérdida de hábitats críticos y una compleja dinámica socioambiental que exige enfoques de manejo y gobernanza innovadores, interdisciplinarios y adaptativos.

En este contexto, el Programa Académico de Ecología Pesquera del CIBNOR reafirma su compromiso de generar conocimiento científico sólido, formar especialistas y aportar soluciones para la sostenibilidad de los recursos pesqueros del país. A través de sus cinco líneas estratégicas, el programa contribuye a comprender, valorar y proteger los sistemas socioecológicos donde se desarrolla la pesca.

La Línea Estratégica I: **“Efectos de la Pesca en Sistemas Socioambientales”** examina la interacción entre las comunidades, los recursos y los ecosistemas. Esta perspectiva se refleja en artículos como *El Golfo de Ulloa: hogar de pescadores y tortugas, conservarlo es compromiso de todos*, *Crisis de la vaquita y la totoaba en el Alto Golfo de California*, y *Conociendo nuestras raíces: Educación ambiental para la protección de los manglares*, que abordan los desafíos de la coexistencia entre actividad pesquera, conservación y justicia socioambiental.



La Línea Estratégica II: **“Exploración, Dimensionamiento y Desarrollo Sustentable de Nuevas Pesquerías”** impulsa la búsqueda de oportunidades para diversificar y fortalecer los sistemas pesqueros. En esta visión se enmarcan aportaciones como *La pesca ribereña y los recursos potenciales del Noroeste de México: los cangrejos araña*, *Callos de hacha: del mar a tu mesa*, *Vida sobre las rocas: el crecimiento de la cucaracha de mar*, y *Medusas ante el cambio climático: reproducción, blooms y aprovechamiento*. Cada una destaca las posibilidades biológicas, ecológicas y económicas de recursos emergentes bajo un enfoque sustentable.

La Línea Estratégica III: **“Variabilidad y Vulnerabilidad de Ecosistemas Marinos”** analiza cómo los cambios ambientales, los eventos climáticos extremos y las transformaciones globales afectan la productividad y resiliencia de los sistemas pesqueros. Este número especial incluye trabajos como *El cambio climático y las floraciones de algas nocivas*, *El riesgo del fenómeno de El Niño para las pesquerías marinas a escala mundial*, *Bosques submarinos de Baja California: hábitat y alimento del abulón*, *Microplásticos: su impacto en las redes tróficas marinas*, y *Una mirada a la biogeoquímica del manganeso a través del sargazo*, los cuales revelan la complejidad y fragilidad de los océanos en un mundo en transformación.

Complementariamente, la Línea Estratégica IV: **“Maximización del Valor Económico de Productos Pesqueros”** impulsa la innovación para aprovechar de manera más eficiente los recursos y reducir pérdidas en las cadenas productivas. Los artículos *Pérdida y desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de la pesca: Valorización de residuos*, *Oportunidades para el rescate y la conversión de subproductos de la pesca en productos de valor*, *Transformando pérdidas y desperdicio de alimentos de las pesquerías y cultivos acuícolas en oportunidades para la economía social y solidaria*, y *¿Qué les pasa a los pescados y mariscos cuando los cocinamos?* muestran cómo el valor agregado, la calidad del producto y la seguridad alimentaria son ejes estratégicos para fortalecer las pesquerías mexicanas.

Finalmente, la Línea Estratégica V: **“Recuperación, Ordenamiento y Sustentabilidad de Pesquerías”** aporta enfoques y herramientas que permiten asegurar la continuidad de los recursos para las futuras generaciones. En esta línea se identifican los artículos *La pesquería de curvina golfinia del Alto Golfo de California*, *La pesquería y cultivo del camarón en el Golfo de California ante el cambio climático*, y *Técnicas de biología molecular para la identificación taxonómica en los recursos pesqueros*, que resaltan la importancia de los enfoques de ordenamiento, la genética y las tecnologías emergentes para mejorar la vigilancia, trazabilidad y manejo responsable de las pesquerías.

En conjunto, los 19 artículos que integran este número especial representan una muestra diversa y profundamente articulada de los conocimientos, experiencias y retos que definen el presente y el futuro de las pesquerías en México. Asimismo, con este número especial celebramos el legado del CIBNOR en su 50° aniversario, institución que durante este periodo ha contribuido de manera decisiva al entendimiento y la gestión sustentable de los ecosistemas marinos y costeros del país.

La realización de este número especial fue posible gracias a la valiosa participación del Dr. Gastón Bazzino Ferreri como editor asociado, cuya experiencia y compromiso académico enriquecieron notablemente este esfuerzo editorial. Asimismo, nuestro agradecimiento a la Ing. Elizabeth Villegas C. por su valioso apoyo en el diseño gráfico editorial.

Con esta edición, el Programa Académico de Ecología Pesquera refrenda su misión: generar ciencia que fortalezca a las comunidades, proteja los ecosistemas y asegure el futuro de las pesquerías mexicanas.

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Editor Huésped

Editorial

Recursos Naturales y Sociedad
2025. Vol. 11 (2): XIII-XIV.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0000>

Special Issue of the Fisheries Ecology Program — 50th Anniversary of CIBNOR

Fisheries represent one of the most important economic, social, and cultural pillars of Mexico. With more than 11,000 km of coastline, the country hosts an extraordinary diversity of marine and coastal ecosystems that support thousands of direct and indirect jobs, provide essential food resources, and promote the well-being of numerous coastal communities. However, this vast natural heritage faces unprecedented pressures: climate change, overexploitation, illegal fishing, increasing pollution, extreme oceanographic events, loss of critical habitats, and a complex socio-environmental dynamic that demands innovative, interdisciplinary, and adaptive management and governance approaches.

In this context, the Academic Program of Fisheries Ecology at CIBNOR reaffirms its commitment to generating robust scientific knowledge, training specialists, and providing solutions for the sustainability of the nation's fisheries resources. Through its five strategic lines, the program contributes to understanding, valuing, and protecting the socioecological systems in which fisheries take place.

Strategic Line I, **“Effects of Fishing on Socio-Environmental Systems,”** examines the interactions among communities, resources, and ecosystems. This perspective is reflected in articles such as *The Gulf of Ulloa: Home of Fishers and Turtles — Conserving It Is Everyone's Commitment*; *The Crisis of the Vaquita and Totoaba in the Upper Gulf of California*; and *Knowing Our Roots: Environmental Education for Mangrove Protection*, which address the challenges of coexistence among fishing activity, conservation, and socio-environmental justice.

Strategic Line II, **“Exploration, Assessment, and Sustainable Development of New Fisheries,”** promotes the search for opportunities to diversify and strengthen fisheries systems. Within this vision are contributions such as *Small-Scale Fisheries and Potential Resources of Northwestern Mexico: The Spider Crabs*; *Pen Shells: From the Sea to Your Table*; *Life on the Rocks: Growth of the Sea Roach*; and *Jellyfish and Climate Change: Reproduction, Blooms, and Utilization*. Each highlights the biological, ecological, and economic potential of emerging resources under a sustainable approach.

Strategic Line III, **“Variability and Vulnerability of Marine Ecosystems,”** analyzes how environmental changes, extreme climatic events, and global transformations affect the productivity and resilience of fisheries systems. This special issue includes works such as *Climate Change and Harmful Algal Blooms*; *The Risk of El Niño Events for Marine Fisheries Worldwide*; *Kelp Forests of Baja California: Habitat and Food for Abalone*; *Microplastics: Their Impact on Marine Food Webs*; and *A Look at Manganese Biogeochemistry through Sargassum*. Together, these contributions reveal the complexity and fragility of the oceans in a changing world.

Likewise, Strategic Line IV, **“Maximization of the Economic Value of Fishery Products,”** promotes innovation to improve resource efficiency and reduce losses along value chains. Articles such as *Food Loss and Waste in Fisheries Value Chains: Valorization of Residues*; *Opportunities for the Recovery and Conversion of Fishery Byproducts into High-Value Products*; *Transforming Food Loss and Waste from Fisheries and Aquaculture into Opportunities for the Social and Solidarity Economy*; and *What Happens to Fish and Seafood When We Cook Them?* illustrate how value addition, product quality, and food safety are strategic pillars for strengthening Mexican fisheries.

Finally, Strategic Line V, **“Recovery, Management, and Sustainability of Fisheries,”** provides approaches and tools that help ensure the continuity of resources for future generations. Within this line are articles such as *The Gulf Corvina Fishery of the Upper Gulf of California*; *Shrimp Fisheries and Aquaculture in the Gulf of California under Climate Change*; and *Molecular Biology Techniques for Taxonomic Identification in Fishery Resources*, which underscore the importance of management approaches, genetics, and emerging technologies to improve monitoring, traceability, and responsible fishery management.

Together, the 19 articles that make up this special issue represent a diverse and deeply interconnected collection of knowledge, experiences, and challenges that define the present and future of fisheries in Mexico. This special edition also commemorates CIBNOR’s 50th anniversary—



an institution that, throughout this period, has made decisive contributions to the understanding and sustainable management of the country's marine and coastal ecosystems.

The development of this special issue was made possible thanks to the valuable participation of Dr. Gastón Bazzino Ferreri as Associate Editor, whose expertise and academic commitment greatly enriched this editorial effort. We also express our gratitude to Eng. Elizabeth Villegas C. for her valuable support in editorial graphic design.

With this edition, the Academic Program of Fisheries Ecology reaffirms its mission: to generate science that strengthens communities, protects ecosystems, and ensures the future of Mexican fisheries.

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Guest Editor

The Gulf of Ulloa: home of fishers and turtles,
conserving it is everyone's responsibility

El Golfo de Ulloa: hogar de pescadores y tortugas, conservarlo es compromiso de todos

Retana-Arellano, J.Z¹, C.A Salinas-Zavala², M.V. Morales-Zárate^{2*}

Resumen

Considerando que la zona costera es una región en la que encontramos tanto recursos de interés ecológico (por ejemplo, las tortugas marinas) como peces y mariscos que son aprovechadas por las comunidades pesqueras, es fundamental reconocer que ecosistemas como el del Golfo de Ulloa (GU) enfrentan grandes retos para lograr un uso, aprovechamiento y conservación sostenibles. Esta región ha sido objeto de diversos estudios debido a los varamientos de tortugas marinas registrados en sus playas, lo que ha llevado a señalar a la pesca ribereña como la principal causante de este fenómeno. No obstante, investigaciones recientes cuestionan esta suposición, por lo que el trabajo continúa para comprender mejor la situación y proponer soluciones de manejo más adecuadas. En este artículo, buscamos resaltar la importancia de adoptar una visión más integral de la conservación de estas actividades, tomando la inclusión de todos los actores involucrados en estas actividades prioritarias.

Palabras clave: pesca ribereña, conservación, tortuga marina, captura incidental.

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Km Ciudad Universitaria Km. 5.5 Carretera al Sur, C.P. 23080. La Paz, Baja California Sur, México

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: mzarate04@cibnor.mx



Abstract

Considering that coastal zones are areas where both ecologically significant resources (such as sea turtles), fish, and valuable seafood species exploited by fishing communities coexist, it is crucial to acknowledge that ecosystems such as the Gulf of Ulloa (GU) face considerable challenges in achieving sustainable use, management, and conservation. This region has been the subject of numerous studies due to the recurring strandings of sea turtles along its shores, which have frequently led to small-scale fisheries being identified as the primary drivers of this phenomenon. However, recent research has begun to question this assumption, underscoring the need for continued investigation to gain a more comprehensive understanding of the situation and to develop context-appropriate solutions. This article seeks to emphasize the importance of adopting a more integrated management approach to the conservation of these activities, with particular attention to the inclusion of all relevant stakeholders.

Key words: small-scale fishing, conservation, marine turtle, bycatch

Presentación

A la gran mayoría de las personas nos gusta ir a la playa y, más de uno, hemos soñado con tener una casa frente al mar. Sin embargo, más allá de su belleza escénica, la zona costera (definida como una región entre el ambiente terrestre y el océano) nos proporciona mucho más que solo paisajes bonitos. Nos brinda servicios ecosistémicos de gran valor ambiental, económico y social, tales como la regulación del clima y la producción de alimentos. Desde un punto de vista ecológico, estas áreas son el hogar de numerosas especies marinas y terrestres, albergadas en ecosistemas tan diversos como manglares, arrecifes rocosos, dunas costeras y marismas, que sirven como refugio y área de reproducción para diferentes especies.

Además, las zonas costeras actúan como barreras naturales que nos protegen contra tormentas, huracanes y la erosión, contribuyendo a la estabilidad de esta zona. Por su parte, desde el punto de vista social y cultural, las comunidades humanas costeras han desarrollado formas de vida y tradiciones estrechamente ligadas al mar, siendo la navegación y la pesca parte esencial de su arraigo e identidad (Álvarez-Torres, 2022). Una modalidad de la pesca y quizás la más extendida en el mundo, es la pesca ribereña o de pequeña escala, que se caracteriza por la utilización de artes de pesca con poco desarrollo tecnológico, como las redes de enmalle (chinchorros y redes agalleras),

a bordo de pequeñas embarcaciones de más o menos 7.5 m de longitud y de pocas horas de autonomía (conocidas coloquialmente como pangas).

En México, esta actividad se lleva a cabo en 17 de las 32 entidades federativas y es fundamental para la seguridad alimentaria, la generación de empleo y el desarrollo de las comunidades costeras en todo el país. Ejemplo de ello es Baja California Sur (BCS), donde la pesca desempeña un papel clave en la economía y la cultura del estado, con aproximadamente 11,000 pescadores (SADER, 2025), de los cuales más del 80 % se dedican a la pesca ribereña. Esto posiciona al estado como una de las entidades con la mayor flota artesanal del país; además cuenta con la mayor extensión litoral, con 2,220 km.

En este sentido, una de las zonas más importantes es la zona conocida como Golfo de Ulloa (GU, Figura 1), que destaca por su contribución del 42% de la actividad pesquera en BCS. Además, se caracteriza por la inmensa cantidad de alimento y recursos que produce, lo que permite una gran diversidad y abundancia de productos pesqueros aprovechados por las comunidades desde que éstas se asentaron en sus inmediaciones (desde 6000 a.C¹). Por otro lado, esta gran cantidad de alimento también ha favorecido desde tiempos inmemorables, condicione propicias para el asentamiento y residencia de distintas especies de alto interés ecológico, algunas de ellas protegidas a nivel internacional, como las tortugas marinas, los delfines, las ballenas y los lobos marinos.

En particular, el GU es un hábitat clave de alimentación para la tortuga caguama (*Caretta caretta*), una especie que usa el GU como zona de alimentación y crecimiento por periodos que pueden ir más de dos décadas antes de moverse hacia otras áreas del Pacífico.

¹ Según los antecedentes históricos de los indígenas de Baja California, había complejos sociales dedicados a la recolección, caza y pesca en la zona.



Figura 1. Ubicación del Golfo de Ulloa, con los polígonos de la Zona de Refugio Pesquero (ZRP) y del Área Específica de Restricciones Pesqueras.

Y todo esto parece bueno, ¿no? en realidad sí lo es, porque es una muestra de la inmensurable riqueza biológica que posee México, pero cuidar de ello representa grandes desafíos tanto nacionales como internacionales; por ejemplo, nuestro país como firmante de la Carta de las Naciones Unidas (ONU) está comprometido a cumplir con los objetivos internacionales como la Agenda 2030 que marca un modelo de desarrollo sostenible que destaca la necesidad de que los gobiernos implementen políticas públicas que fomenten un equilibrio entre el progreso económico y la conservación del medio ambiente, y todo ello nuevamente está muy bien, pero si no se cuenta con la información y conocimiento suficiente se corre el riesgo de generar políticas de manejo poco claras y poco efectivas, y peor aún, puede convertirse en un problema demasiado complejo, ¿quieres saber por qué? te lo contamos en la siguiente sección.

¿Qué está pasando en el Golfo de Ulloa?

Recordemos que el GU es un sistema costero en el que conviven pescadores, recursos naturales con importancia económica y también especies de interés ecológico como las tortugas. Sin embargo, debido al poco desarrollo tecnológico de los artes de pesca que utilizan los pescadores, a veces es posible que también capturen especies presentes en la misma zona pero que no son el objetivo de su pesca, como las tortugas. Y aquí comienza a ponerse interesante, porque esta actividad conocida como pesca incidental (Figura 2) está señalada como una de las principales causas de la disminución o reducción de las poblaciones de tortugas marinas en el mundo (Work y Balazs, 2010). En consecuencia, las actividades pesqueras han sido ampliamente señaladas como una de las principales amenazas para la especie, y el GU no ha sido la excepción.

Esta situación ha derivado en la implementación de diversas medidas de manejo y regulación, incluyendo restricciones en ciertas áreas de pesca y monitoreos constantes en la zona como lo fue la implementación de la Zona de Refugio Pesquero (ZRP) y el Área de Restricciones Específicas Pesqueras (Figura 1) desde 2016. Sin embargo, estas estrategias de manejo han generado tensiones entre los pescadores locales, quienes dependen de la pesca para su sustento y ven estas regulaciones como una amenaza para su estabilidad económica, porque ¿te imaginas que de pronto ya no puedas trabajar en lo que siempre has trabajado? Sería una situación difícil, ¿no crees?



Figura 2. Ilustración de algunos grupos de especies marinas susceptibles de formar parte de la pesca incidental.

Por ello, el desafío no solo radica en minimizar la pesca incidental de las tortugas marinas, sino también en encontrar mecanismos que permitan a las comunidades pesqueras continuar sus actividades de forma compatible con la conservación. Porque sí, querido lector, hay que recordar



que los pescadores son parte integral del sistema socioambiental del GU. Por lo tanto, los cambios que se presenten dentro de este sistema impactan directamente a las comunidades pesqueras, y viceversa. Por ello, es fundamental considerar sus saberes, necesidades y contextos en la toma de decisiones, si se busca avanzar hacia un manejo verdaderamente sustentable (Salinas-Zavala *et al.*, 2022).

Hasta hace muy poco, el marco de manejo del sistema socioambiental del GU se enfocó principalmente en la conservación de la tortuga caguama debido a presiones internacionales, y la urgencia de reducir la mortalidad por pesca incidental de la especie. Como resultado de estas regulaciones, los pescadores señalaron su falta de participación en el diseño y aplicación de estas normativas pues se generó entre ellos un sentimiento de exclusión y desconfianza, y a ello, se suma la percepción de que las medidas impuestas no consideran sus necesidades, conocimientos tradicionales ni las dinámicas ecológicas y económicas locales, reduciendo las oportunidades de pesca y afectando el bienestar de quienes dependen completamente de esta actividad. Y, por si fuera poco, las tortugas se siguen muriendo (Figura 3).

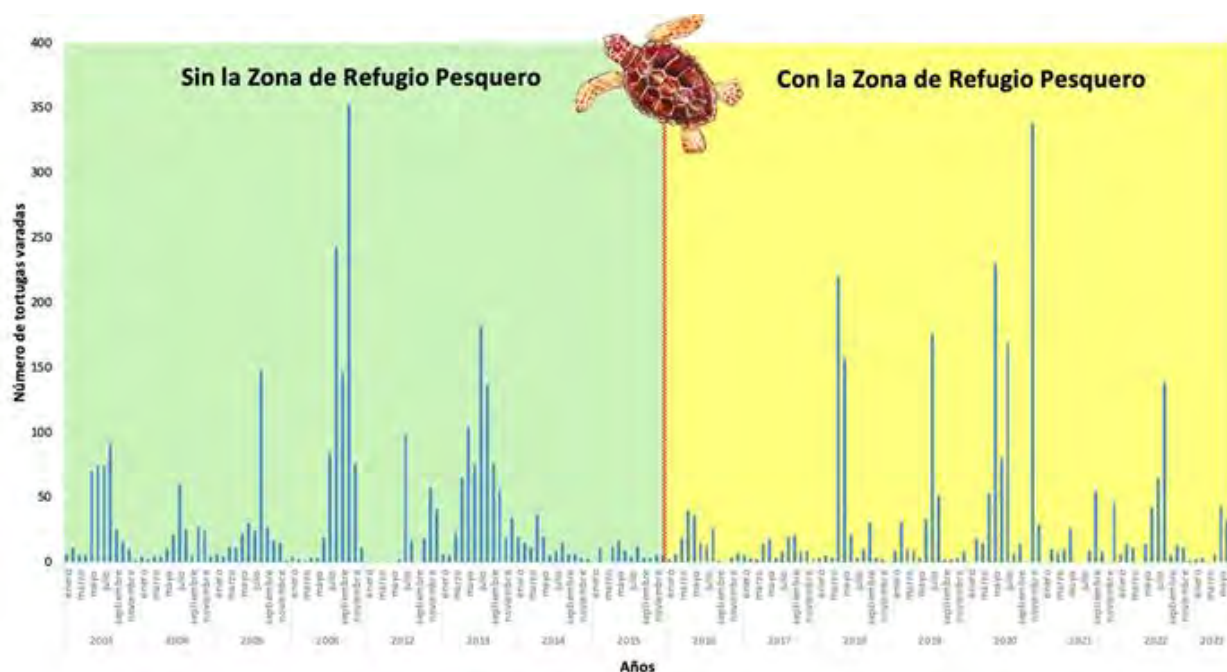


Figura 3. Número de varamientos de tortuga caguama (*Caretta caretta*) registrados por año y mes en Playa San Lázaro, entre 2003 y 2023. Se indica la cantidad de organismos varados antes (área sombreada en verde) y después (área sombreada en amarillo) de la declaratoria de la Zona de Refugio Pesquero en 2015. La línea punteada roja señala el año en que se estableció dicha zona.

La suposición de que la pesca incidental es la principal causa de muerte de tortugas marinas en el GU fue admitida en casi toda la comunidad, tanto en la civil como en la autoridad e incluso en la

académica, sin embargo, la persistencia del mismo fenómeno de mortandad² empezó a inquietar la mente de algunos investigadores quienes se plantearon la posibilidad de que quizás ese fenómeno podía deberse a otros factores y no solo a la pesca incidental. Y recordaron algo fundamental: las tortugas son reptiles (sí, ¡como las lagartijas!), y los reptiles no pueden regular su temperatura corporal, sino que dependen de la temperatura ambiental para mantener la propia, luego entonces, la temperatura del agua de mar tiene algo que ver. ¿Qué tal que la temperatura del agua es demasiado fría? ello podría enfermar a las tortugas ¿o no? Quizás no de manera inmediata, pero sí en un periodo prolongado, por ejemplo, ¿te ha pasado que hace calor y entonces pones el aire acondicionado y disfrutas de que esté frío, pero si lo dejas así después de un rato ya sientes la necesidad de cubrirte o apagarlo? Ahora imagina que te mantienes así en un cuarto cerrado con el aire acondicionado a tope y permaneces allí dentro por un tiempo más prolongado y sin poder cubrirte, ¿no crees que te podrías enfermar de gripe? Y si no actúas, quizás te puedes enfermar de algo más grave como pulmonía o incluso caer en hipotermia. Bueno, creemos que esto mismo puede pasar con las tortugas ya que, al ser reptiles, pueden verse afectadas en su salud si las condiciones que están a su alrededor, es decir, del mar, no son favorables. Esto lo explican unos investigadores a través de algo que ellos llamaron la *hipótesis de la termorregulación*, y según sus hallazgos, cuando el agua de la zona se mantiene fría por periodos prolongados, el metabolismo de las tortugas puede verse altamente afectado, reduciendo su movilidad y capacidad de reacción, también bajando sus defensas (se inmunodeprimen) y todo ello las hace más vulnerables, ya que no pueden escapar con facilidad de sus depredadores ni tampoco esquivar objetos, por lo que pueden ser fácilmente depredadas, golpeadas o quedar atrapadas en las redes de pesca (Salinas-Zavala *et al.*, 2020).

Sobre esta misma idea, estos investigadores encontraron que las tortugas aumentan su probabilidad de morir de manera natural cuando la temperatura es fría en comparación a cuando la temperatura es cálida (Morales-Zárate *et al.*, 2021). Y continuando con ello, quisieron saber cómo era realmente la interacción de las tortugas con las redes de pesca (porque toda la idea de que la pesca era la principal causa de muerte se derivó de la observación de muchas tortugas muertas varadas en la playa, y no de tortugas muertas en las redes de pesca; Figura 3) y encontraron que estas interacciones tortuga-red no suceden todo el tiempo ni en todo el área, ni tampoco son todas fatales, de hecho se observó que únicamente <6 % mueren por causa de pesca incidental (Retana-

² Mortandad se refiere a un número alto de muertes, en este caso de tortugas, provocado por algún fenómeno, y es diferente a mortalidad, que se refiere a la tasa de organismos de una población que muere en un tiempo determinado.



Arellano, 2023). Interesante, ¿no lo crees? Ahora contamos con hipótesis alternativas que alivian en parte la presión social sobre los pescadores, pero ¿será suficiente? ¡Averigüémoslo!

¿Será posible conservar a las tortugas y pescar en el GU al mismo tiempo?

¡Por supuesto! No será fácil ni rápido, pero creemos que es absolutamente posible. Este principio de manejo, el que incluye el efecto del ambiente sobre los organismos, se ha aplicado para mitigar la captura incidental en aquellas regiones dónde converge la actividad pesquera y aquellas especies que no son objetivo de esta actividad o que se encuentran bajo algún tipo de protección, utilizando información complementaria como la temperatura superficial del mar (TSM). Es así como los esfuerzos para la conservación de organismos como las tortugas marinas que utilizan factores ambientales son llamados en la actualidad como Manejo Dinámico de los Océanos (o DOM por su acrónimo en inglés: *Dynamic Ocean Management*). Este concepto busca proponer respuestas de gestión de los recursos marinos de manera dinámica y eficiente a la par de los cambios en los océanos, incluyendo para ello la integración de información biológica, oceanográfica y social (Maxwell et al, 2015).

Y a pesar de que aún tenemos más preguntas que respuestas, consideramos que vamos por buen camino y reconocemos la necesidad de continuar planteando ideas y posibles soluciones, con el apoyo de pescadores, científicos, autoridades gubernamentales, y por supuesto de las comunidades locales para llegar al objetivo en común (Figura 4), pues la participación de las comunidades costeras en mesas de diálogo y gestión pesquera es fundamental si queremos transitar a un manejo sostenible. El diálogo abierto e inclusivo permitirá diseñar regulaciones más justas y efectivas, que consideren tanto la protección del ecosistema como la viabilidad económica de la actividad pesquera, recordando que ambas son actividades prioritarias del GU. Consideramos también que, la difusión clara del problema sin prejuiciarnos y manteniéndonos objetivos, así como compartir la información de manera clara y oportuna, facilitará el diálogo entre autoridades, pescadores, científicos y la comunidad en general, lo cual permitirá proponer y promover estrategias de manejo pesquero que velen tanto por la protección de la especie como por el bienestar de las comunidades y su economía local.

Finalmente, querido lector, después de leernos ¿de quién crees que es el compromiso?, nosotros creemos que es de todos, puesto que la educación ambiental y la participación ciudadana pueden ayudar a garantizar un impacto positivo a largo plazo, asegurando que futuras generaciones sean

más conscientes y responsables con el uso de los recursos y en el respeto a quienes hacen uso directo de ellos para su sustento, así que te invitamos a que no lo pienses más ¡y te sumes! ¿Cómo? Compartiendo esta información. ¿Quieres saber más? ¡Contáctanos!



Figura 4. Compartiendo información con las comunidades en los sitios de interés se facilitará la comunicación y abrirá espacios de confianza y reflexión para la generación de conocimiento colectivo.

Literatura citada

- Álvarez-Torres, B. 2022. *El manglar como elemento de resiliencia sistemática en la comunidad de Puerto San Carlos, Baja California Sur. Un Análisis de microescala*. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México. 123 p.
- Bendímez, M.J. 1987. Antecedentes históricos de los indígenas de Baja California. *Estudios Fronterizos*, año V, núm. 14, pp. 11-46
- SADER. 2025. *ACUERDO mediante el cual se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. En: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5751372&fecha=10/03/2025#gsc.tab=0. 25 de marzo 2025.
- Maxwell, S.M., Hazen, E.L., Lewison, R. L., Dunn, D.C., Bailey, H., Bograd, S. J., Briscoe, D.K., Fossette, S., Hobday, A.J., Bennett, M., Benson, S., Caldwell, M.R., Costa, D.P., Dewar, H., Eguchi, T., Hazen, L., Kohin, S., Sippel, T y Crowder, L. B. 2015. *Dynamic ocean management: Defining and conceptualizing real-time management of the ocean*. *Marine Policy*. (58): 42-50.



- Morales-Zárate, M.V., López-Ramírez, J.A. y Salinas-Zavala, C.A. 2021. *Loggerhead marine turtle (Caretta caretta) ecological facts from a trophic relationship model in a hot spot fishery area: Gulf of Ulloa, Mexico*. Ecological Modelling, 439: 109327, 9 p. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109327.
- Retana-Arellano, J.Z. 2023. *Evaluación de la interacción entre las actividades prioritarias de pesca y conservación en el sistema socioambiental del Golfo de Ulloa. Estudio de caso: Caretta caretta y Chelonia mydas (Linnaeus, 1758)*. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México. 100 p.
- Salinas-Zavala, C.A., Morales-Zárate, M.V. y Martínez-Rincón, R.O. 2020. *An empirical relationship between sea surface temperature and massive stranding of the loggerhead turtle (Caretta caretta) in the Gulf of Ulloa, Mexico*. Latin American Journal of Aquatic Research, 48(2): 214-225. doi: 10.3856/vol48-issue2-fulltext-2348.
- Salinas-Zavala, C.A., Morales-Zárate, M.V., Diaz-Santana-Iturrios, B. y Sánchez-Brito, I. 2022. *Social vulnerability of the fishing community to restrictive public policies: case study the Gulf of Ulloa, Mexico*. Sustainability, 14(21): 13 p. doi: 10.3390/su142113916.
- Work, T.M., y Balazs, G.H. 2010. *Pathology and distribution of sea turtles landed as bycatch in the Hawaii-based North Pacific pelagic longline fishery*. Journal of Wildlife Diseases, 46(2), 422-432.

Cita

Retana-Arellano, J.Z., C.A. Salinas-Zavala y M.V. Morales-Zárate. El Golfo de Ulloa: hogar de pescadores y tortugas, conservarlo es compromiso de todos. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 01-10. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0001>

Sometido: 23 de mayo de 2025

Aceptado: 30 de junio de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Climate change and harmful algal blooms (HABs):
a growing challenge for marine aquatic ecosystems

El cambio climático y las floraciones de algas nocivas (FAN): un desafío creciente para los ecosistemas acuáticos marinos

Norma Yolanda Hernández-Saavedra^{1*}

Resumen

El cambio climático está afectando significativamente los ecosistemas marinos y de agua dulce, lo que provoca un aumento de la incidencia de floraciones de algas nocivas (FAN). Estas floraciones se ven influenciadas por diversos factores, como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y la acidificación de los océanos, que pueden alterar las estructuras de las comunidades fitoplanctónicas y favorecer el crecimiento de especies tóxicas. A medida que el clima continúa cambiando, se prevé que la frecuencia y la gravedad de las FAN aumenten, representando una amenaza para la salud humana, la pesca, la acuicultura y el medio ambiente, lo que requiere mejores estrategias de monitoreo y pronóstico para mitigar sus impactos.

Palabras clave: Cambio Climático, Floraciones Algales Nocivas, Calentamiento global, Mareas Rojas, Ecosistemas Marinos.

¹ Programa de Ecología Pesquera

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: nhernan04@cibnor.mx



1. Introducción

1.1 ¿Cambio Climático-Calentamiento Global?

Los ecosistemas marinos, y de agua dulce, están experimentando cambios drásticos debido al Cambio Climático (CC, por sus siglas en español), incluyendo el Calentamiento Global (CG, por sus siglas en español), la acidificación y la desoxigenación. A su vez, estos cambios están intensificando los impactos de las Floraciones de Algas Nocivas (FAN, por sus siglas en español). El clima de la Tierra ha variado a lo largo de su historia debido a factores naturales (Fig. 1), no obstante, la preocupación actual radica en la aceleración del CC atribuida a la actividad humana, en particular a la emisión de gases de efecto invernadero (Fig. 1, estrella azul).

Nuestro planeta ha experimentado antes el CC, prueba de ello es que la temperatura promedio ha fluctuado a lo largo de su historia de 4,540 millones de años, han ocurrido períodos largos de frío o "edades de hielo" (Fig. 1, flechas verdes) y períodos cálidos o "periodos interglaciares" (Fig. 1, flechas negras), en ciclos de 100,000 años durante al menos el último millón de años. El CG actual se debe principalmente al aumento de los gases que atrapan el calor que la actividad humana está agregando a la atmósfera al quemar combustibles fósiles.

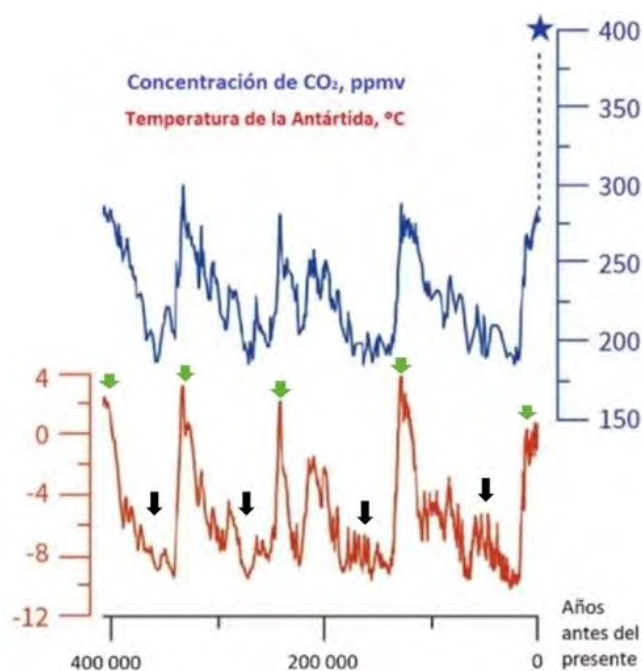


Figura 1. Evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre (línea azul) y temperatura de la Antártida (línea roja) en los últimos 400 000 años. La estrella azul indica la concentración actual de CO₂ (gas de efecto invernadero), por encima de las 400 partes por millón, un valor totalmente antinatural en la historia reciente de nuestro planeta. Periodos de hielo (flechas verdes) y periodos interglaciares (flechas negras) (tomado de Mundo, 2023).

1.2 El Fitoplancton

El fitoplancton (microorganismos que en su mayoría producen su propio alimento a partir de sustancias inorgánicas como el dióxido de carbono y el agua), es la base del ecosistema marino; su función en la vida del planeta es realizar la fotosíntesis (Fig.1) que es un proceso en el que intervienen agua, sales, nutrientes, bióxido de carbono (flechas anaranjadas) y radiación solar (flechas amarillas), para finalmente producir diversos compuestos orgánicos como lípidos, carbohidratos y proteínas que requieren para completar su ciclo de vida, liberando oxígeno. En este proceso, la materia inorgánica se transforma en orgánica, misma que se transfiere al zooplancton (Fig. 2). Como se observa en la figura 2 (flechas rojas) los mamíferos mayores (oso polar) se alimentan de mamíferos menores (foca) y estos a su vez de peces. Los peces se alimentan de zooplancton el cual se alimenta de fitoplancton. Por lo tanto, las microalgas marinas se consideran los productores primarios naturales más importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que el fitoplancton marino produce casi el 50 por ciento del oxígeno que hay en el planeta del cual nos beneficiamos (Fig. 1, flecha verde) (Licea, 2019). Este grupo se encuentra integrado por diversas clases de algas microscópicas, entre los que destacan por su abundancia las diatomeas y los dinoflagelados.

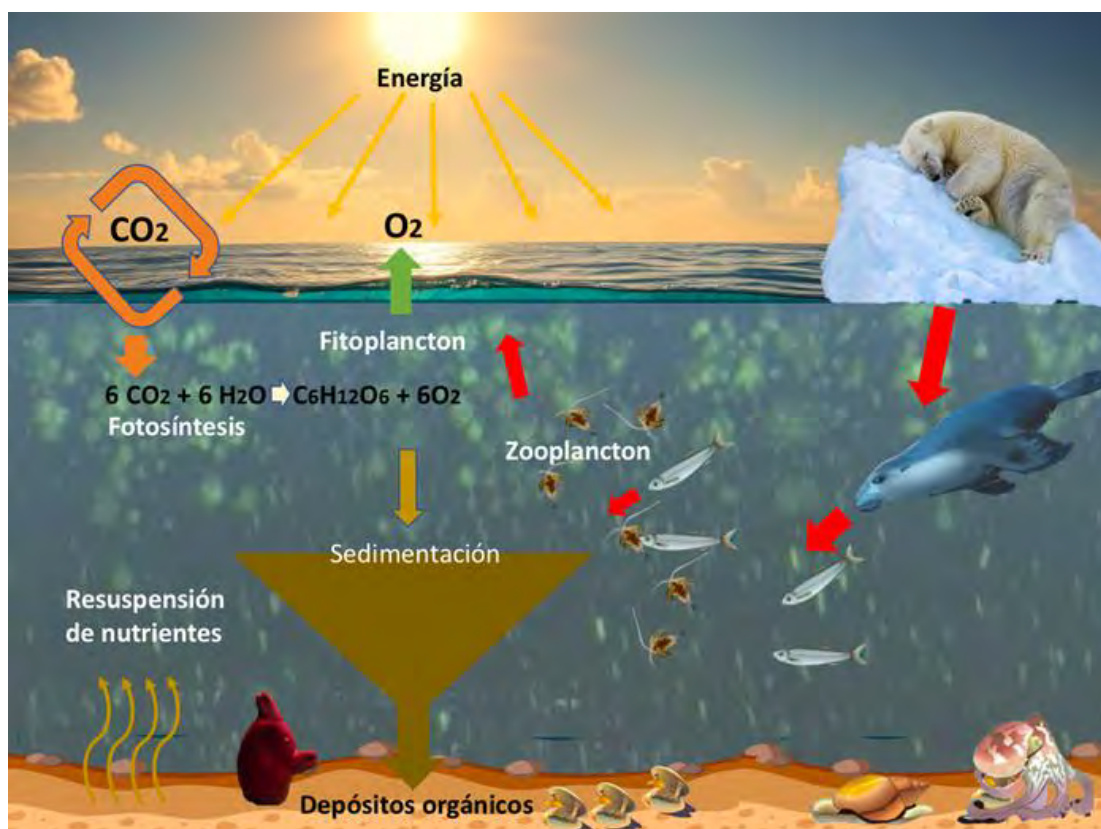


Figura 2. La red alimenticia marina: producción primaria de compuestos orgánicos (flechas anaranjadas, amarillas y verde) y transferencia de nivel trófico (flechas rojas). Reciclado de detritos y excedentes (flechas sepia) (basado en Glikson y Groves, 2016).



1.3 Las Floraciones Algales Nocivas (FAN)

La abundancia y distribución espacial del fitoplancton está condicionada, entre otros factores, por la intensidad luminosa, la transparencia del agua, la concentración de CO₂ y de nutrientes minerales como el nitrógeno y el fósforo, ya que la conjugación de estos elementos es indispensable para poder llevar a cabo la fotosíntesis. Por ello, la existencia del fitoplancton está íntimamente ligada a las aguas superficiales, preferentemente cercanas a las costas. La presencia de fitoplancton sigue un ciclo dinámico, que puede llevar a incrementos repentinos en su biomasa en donde, dependiendo de las condiciones ambientales prevalentes y cuando las especies algales son tóxicas o causan daño se generan las denominadas “Floraciones de Algas Nocivas” (FAN), coloquialmente conocidas como “mareas rojas” (COPRISJAL, 2025).

El término FAN lo acuñó la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI, por sus siglas en español) de la UNESCO (Hallegraeff *et al.*, 2003), y se usa para designar microalgas, bacterias y ciliados que pueden producir daños al hombre por sus efectos adversos en la salud humana, en la acuicultura, turismo y en las poblaciones naturales de organismos marinos en las zonas costeras (Feng *et al.*, 2024). Muchas de estas microalgas son parte del fitoplancton que engloba diversas especies microscópicas, con escasa capacidad de movimiento, por lo que son transportadas pasivamente por la masa de agua en donde habitan. Los FAN son eventos de ocurrencia global cuya naturaleza y extensión se ha incrementado en las últimas décadas, siendo las posibles explicaciones muy variadas: desde mecanismos naturales, hasta la dispersión de especies debido a actividades humanas como el transporte de agua en las cetas de los barcos y el cultivo de especies exóticas comercializables.

El fitoplancton oceánico es una fuente de alimento fundamental para los organismos filtradores, así como para las larvas de crustáceos, moluscos y peces de alto valor comercial. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, las floraciones de algas (proliferaciones masivas de millones de células de fitoplancton por litro) resultan beneficiosas para la acuicultura y la pesca silvestre. Sin embargo, en algunas situaciones, estas floraciones pueden tener efectos negativos, generando pérdidas económicas en actividades acuícolas, pesqueras y turísticas, teniendo importantes impactos tanto en el ambiente como en la salud humana. Entre las 5,000 especies de fitoplancton marino existentes, unas 300 pueden crecer en cantidades tan altas que cambian el color de la superficie del mar, mientras que unas 80 especies son capaces de producir potentes toxinas que pueden llegar a los humanos a través del consumo de mariscos y peces (Hallegraef, 2003), afectando su salud y al

ecosistema marino (Tabla 1). En la tabla 1 se presenta una relación de los síndromes y/o tipos de intoxicaciones provocadas por efecto de toxinas de eventos FAN desde el punto de vista de la Salud Pública, incluyendo como organismos fuente diversos grupos del fitoplancton.

Tabla 1. Tipos de síndromes provocados por efecto de toxinas de eventos FAN desde el punto de vista de la Salud Pública, incluyendo como organismos fuente: dinoflagelados, rafidofitas, diatomeas y cianobacterias (elaborado a partir de COPRISJAL, 2025; Hallegraeff, 2003; WHO, 2025a y b; EPA, 2025).

Nombre	Acrónimo	Compuesto químico	Ejemplo de agente causal	Efecto
Veneno Paralizante por Molusco o Paralytic Shellfish Poisoning	VPM ó PSP	Análogos de saxitoxina (compuestos de la tetrahidropurina, divididos en cuatro subgrupos)	<i>Alexandrium fundyense</i> ; <i>Pyrodinium bahamense</i> ; <i>Gymnodinium catenatum</i> .	Entumecimiento, picazón, cefaleas, mareos, náuseas, vómitos y diarrea y, ocasionalmente, ceguera temporal. Parestesia y en intoxicaciones graves muerte por paro respiratorio.
Veneno Diarreico por Molusco o Diarrhetic Shellfish Poisoning	VDM ó DSP	Ac. okadaico y dinofisitoxinas (poliéteres termoestables lipófilos)	<i>Dinophysis acuminata</i> ; <i>Prorocentrum lima</i> .	Malestar estomacal, diarrea, deshidratación
Veneno Neurotóxico por Molusco o Neurotoxic Shellfish Poisoning	VNM ó NSP	Brevetoxinas (neurotoxinas poliéter cíclicas insípidas)	<i>Karenia brevis</i> , <i>Heterosigma akashiwo</i>	Entumecimiento, pérdida de la coordinación, malestar estomacal y hormigueo en la boca, los brazos y las piernas; irritación respiratoria.
Veneno por Azaspirácidos o Azaspiracid Poisoning	VAZ o AZP	Azaspirácidos y análogos	<i>Azadinium</i> sp. y <i>Amphidoma</i> sp.	Nausea, vómitos, diarrea grave y calambres de estómago; citotóxico, posible teratógeno y carcinógeno;
Veneno Neurológico y gastrointestinal por Ciguatoxina	Ciguatera	Ciguatoxina (compuestos lipídicos poliéteres solubles formados por 13 a 14 anillos unidos por enlaces éter)	<i>Gambierdiscus toxicus</i>	Náusea, vómito, diarrea, cólicos, sudoración excesiva, dolor de cabeza y dolores musculares. Puede ocurrir una sensación de ardor y hormigueo, así como debilidad, comezón y mareo. También podría experimentar sensaciones de sabor inusuales, pesadillas y alucinaciones. Los síntomas generalmente se resuelven en un plazo de unos días a varias semanas.
Veneno Amnésico por Molusco o Amnesic Shellfish Poisoning	VAM ó ASP	Ac. Domoico (cainoides)	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> , <i>P. pseudodelicatissima</i>	Malestar estomacal, mareo, dolor de cabeza, desorientación y pérdida de la memoria a corto plazo; en casos graves, convulsiones
Dermatotoxinas			Cianobacteria: <i>Lyngbia</i> sp.	Picazón del nadador, dermatitis



Microcistinas, nodularinas, Cylindrospermopsinas, saxitoxinas		Hepatotoxinas, neurotoxinas.	Cinaobacterias: <i>Microcystis</i> , <i>Nodularia</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Plankthothrix</i>	Daño al riñón y al sistema reproductivo, parálisis respiratoria, potencial carcinogénico.
Karlotoxina		Ictiotoxinas	<i>Karlodinium</i>	Muerte de peces, pérdida de corrales de red para la maricultura
Anatoxinas, saxitoxinas		Neurotoxinas	Cinaobacterias: <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Nostoc</i> .	Parálisis respiratoria; envenenamiento letal agudo
Ostreocina		Análogos de palitoxina	<i>Ostreopsis</i>	Problemas respiratorios, irritación de la piel, síntomas parecidos a los de la gripe, muerte.

Además, algunas algas pueden producir biomasa excesiva (floraciones) que puede provocar efectos nocivos en el medio ambiente como: 1) la elevación de los niveles de nutrientes (eutrofización), 2) estratificación de la columna de agua (mezcla limitada), 3) disminución de la penetración de la luz, 4) disminución del nivel de oxígeno (hipoxia/anoxia), 5) la acidificación del ambiente, y 6) la generación de zonas muertas asociadas a los fondos marinos, debido a la acumulación y descomposición de las microalgas y otros organismos como peces, moluscos y crustáceos muertos, lo que afecta directamente a las comunidades bentónicas (ver Fig. 3). Para las comunidades humanas, además del problema de salud por las intoxicaciones, hay impactos negativos en las actividades recreativas, en el turismo e incluso para el acceso al agua potable (Feng, *et al.*, 2024).

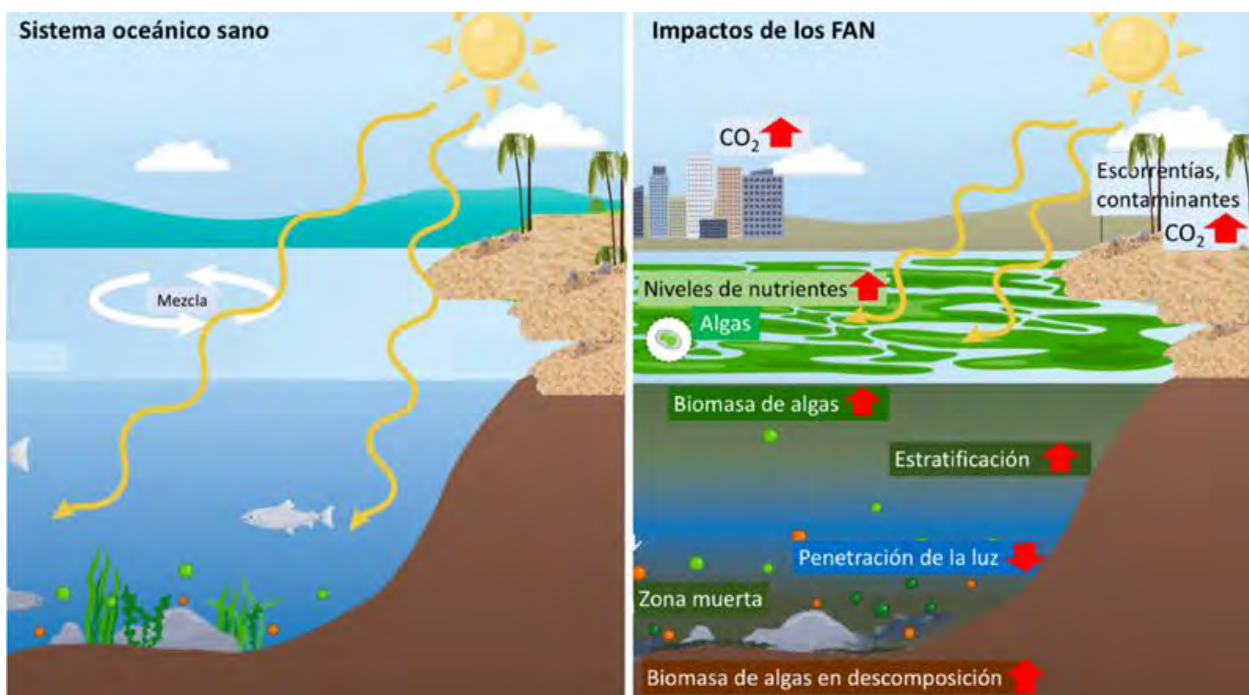


Figura 3. Resumen de los impactos de las floraciones de algas nocivas en las aguas costeras (modificado de Feng *et al.*, 2024).

2. Factores que intervienen en la formación de FAN

Las presiones del CC están influyendo en los sistemas planctónicos marinos a nivel mundial, por lo que se piensa que provocarán cambios en la estructura y la composición de la comunidad de fitoplancton, incluida una mayor prevalencia, gravedad y propagación geográfica de FAN (Wells *et al.*, 2015). En la figura 4, se muestra a progresión de la presión del CC sobre las variables clave (temperatura, irradiación solar, pH/pCO₂), los efectos e interacciones que se manifestarán en alteraciones de la temperatura, la estratificación, la luz, la acidificación de los océanos, los aportes de nutrientes inducidos por las precipitaciones y el pastoreo. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre los mecanismos que impulsan las FAN frustra la mayoría de las esperanzas de pronosticar su prevalencia futura. Se espera que, en algunos casos las FAN amplíen su distribución geográfica, así como sus ventanas de oportunidad estacionales para las FAN en latitudes más altas. El CG ha provocado cambios en las características climáticas generales en escalas de tiempo decenales o más largas (Stocker *et al.*, 2013; Fig. 1). Los cambios proximales (ver sección 4), que se manifiestan principalmente en términos de temperatura, precipitación y viento, interactúan con la acidificación de las aguas superficiales derivada del aumento de las emisiones de CO₂ para alterar las condiciones medias de las aguas superficiales y, quizás más importante, sus extremos.



Figura 4. La progresión de la presión del cambio climático sobre las variables clave y las interacciones que impulsarán las respuestas de las floraciones de algas nocivas en el océano del futuro (modificado de Wells et al., 2015).

3. Calentamiento Global y floraciones algales

La causa fundamental del calentamiento de los océanos es la acumulación de CO₂ en la atmósfera, que entra en equilibrio con la superficie del océano y lo acidifica. Al hacerlo, la mayor disponibilidad de CO₂ ofrece el potencial de reequilibrar la distribución y abundancia de fitoplancton que dependen del carbono inorgánico para realizar la fotosíntesis (Fig. 2). Si bien aún no se comprende completamente el efecto neto del aumento del CO₂ en las comunidades de fitoplancton, se ha planteado la hipótesis de que, dado que la RuBisCO (enzima que fija el CO₂ del aire en glucosa [Bayon, 2024]), que se encuentra en los dinoflagelados que causan la mayoría de las FAN (Fig. 5-1), tiene menor afinidad por el CO₂ que otros grupos del fitoplancton, tienen una mayor posibilidad de beneficiarse del aumento de los niveles de CO₂ que otras clases de algas (Brandenburg et al., 2019).



Figura 5. Ejemplo de Marea Roja y algunas de las principales especies formadoras de FAN. 1) Florecimiento Algal Nocivo (FAN) de *Karenia brevis* (dinoflagelado) en 2015; 2) *Alexandrium tamiyavanichii* (dinoflagelado), 3) *Chattonella marina* (rafidofita), 4) *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (diatomea); 5) *Trichodesmium erythraeum* (cianobacteria) (tomado de: 1, Durán-Riveroll *et al.*, 2025; 2-5, Gárate-Lizárraga y Verdugo-Díaz, 2024).

3.1 Dinoflagelados

La mayoría de los datos disponibles sobre la respuesta de las especies FAN al CC se refieren a los dinoflagelados (Fig. 5-2); algunas investigaciones han revelado un aumento general en la tasa de crecimiento de las FAN de dinoflagelados, con una elevada presión parcial de CO_2 (pCO_2 , por sus siglas en inglés) (Brandenburg *et al.*, 2019). En particular, esto sugiere que estas especies están limitadas por la baja pCO_2 atmosférica actual y/o poseen mecanismos flexibles de concentración de carbono (CCM, por sus siglas en inglés) (Beardall *et al.*, 2009). Los dinoflagelados presentan una forma muy ineficiente de RubisCO tipo II (baja especificidad al CO_2), por lo que han desarrollado CCM altamente activos para asegurar una carboxilación efectiva. También se ha demostrado que los CCM más activos, incluidos los de los dinoflagelados, se regulan a la baja con una pCO_2 elevada. Otros hallazgos sugieren que en algunos dinoflagelados una pCO_2 elevada puede inducir a una



reasignación de energía o recursos (para la adquisición de nitrógeno), lo que resulta en una mayor cantidad o síntesis de compuestos funcionales ricos en nitrógeno, como las toxinas PSP y la clorofila-a (Van de Waal *et al.*, 2019).

3.2 Rafidofitas

Las rafidoficeas (Fig. 5-3), constituyen un pequeño grupo de algas de agua dulce y marinas, con unas 20 especies conocidas. Son organismos autótrofos, fotosintéticos; las especies marinas suelen producir grandes FAN en verano, especialmente en las aguas costeras (Wikipedia, 2025).

3.3 Diatomeas

Se ha reportado que las diatomeas (Fig. 5-4) generalmente poseen CCM con menor actividad y plasticidad (Van de Waal *et al.*, 2019). Sin embargo, se ha observado que en algunas especies de *Pseudo-nitzschia* su tasa de crecimiento aumenta con una pCO_2 más alta. Esto sugiere que a pesar de la menor actividad y plasticidad de CCM, *Pseudo-nitzschia* es capaz de regular la incorporación de carbono y aumentar su crecimiento con una pCO_2 elevada (Trimborn *et al.*, 2008).

3.4 Cianobacterias

Las cianobacterias también conocidas como algas verdeazules (Fig. 5-5), se encuentran frecuentemente en aguas dulces, estuarinas y marinas. Estos organismos diminutos o microscópicos son fotosintéticos y muy importantes para los ecosistemas acuáticos, ya que muchas especies pueden fijar el nitrógeno de la atmósfera y ponerlo a disposición de la red trófica acuática. Sin embargo, su crecimiento en exceso puede provocar FAN. Las floraciones de cianobacterias y algas verdes suelen confundirse, ya que ambas pueden formar crecimientos densos en la superficie y la columna de agua. Estas proliferaciones pueden dificultar actividades recreativas como la natación, la navegación y la pesca, además de generar olores desagradables, especialmente en el agua potable y el tejido de los peces y contribuir a la disminución del oxígeno. Algunas cianobacterias, además, son capaces de producir toxinas muy potentes, conocidas como cianotoxinas (Tabla 1) (EPA, 2025a).

4. Vínculos previstos entre las FAN y el CC

4.1 Efectos directos de la temperatura

La temperatura es un parámetro clave que afecta de diferente forma una variedad de procesos metabólicos y, por lo tanto, influye fuertemente en la composición y dispersión de las comunidades de fitoplancton. Aunque el aumento de las temperaturas anuales podría ampliar las ventanas de actividad de algunas FAN, no afectará ni reducirá a otras. Es factible que los hábitats de algunas especies de fitoplancton, templadas y tropicales, se expandan a latitudes más altas. En las FAN, el impacto de los cambios de temperatura inducidos por el clima es complejo debido a diversos factores, debido a que cada especie fitoplanctónica tiene un rango de temperatura óptima para su crecimiento, el suministro de nutrientes y la mezcla estacional (Fig. 5). Si bien existe una correlación positiva entre el aumento de las temperaturas y algunas FAN, es difícil establecer los mecanismos directos entre la temperatura y la fisiología de las FAN, ya que aún cambios mínimos de temperatura pueden afectar significativamente la biomasa de las FAN y la producción de toxinas (Wells *et al.*, 2015). Como ejemplos, se pueden mencionar: generalmente, el aumento de temperatura (hasta 25 °C) ha sido relacionado con el crecimiento de *Dinophysis* spp. y, consecuentemente, el aumento en la producción de toxinas diarreicas. Para otras especies productoras de toxinas, se han descrito relaciones inversas entre la producción de toxinas y la tasa de crecimiento, por ejemplo, el crecimiento de *Alexandrium* spp. aumenta con la temperatura hasta un nivel óptimo (específico de cada especie), mientras que el contenido de toxinas generalmente es mayor en las células de crecimiento lento, mantenidas a temperaturas más bajas. De igual manera, el contenido de toxinas de los dinoflagelados productores de yessotoxina dentro del género *Protoceratium* es mayor en células de división lenta. En otros organismos, la relación entre la temperatura, el crecimiento y la producción de toxinas es poco conocida o muy variable (Griffith y Gobler, 2020).

4.2 Efectos de la estratificación

En general, se cree que la mayoría de las FAN están asociadas con la estratificación, sin embargo, la mayoría de las aguas estratificadas no son lugares donde se desarrollan. Se espera que el CC aumente la estratificación vertical de las columnas de agua, especialmente en las regiones de latitudes altas, tanto la estratificación vertical como la mezcla (turbulencia) de la columna de agua son los principales factores que influyen en gran medida en la dinámica del fitoplancton en cualquier tipo de masa de agua y, junto con otros procesos físicos, determinan la dinámica de las FAN (GEOHAB, 2013). Aunque se considera que la estratificación promueve las FAN, en realidad puede



actuar como un arma de doble filo debido a que las FAN también pueden resultar restringidas en condiciones de estratificación intensa. Por ejemplo, el Golfo de Maine está sujeto a grandes y recurrentes FAN anuales de *Alexandrium fundyense*, con excepción de 2010, cuando una afluencia de una masa de agua anormalmente dulce y cálida provocó una estratificación inusualmente intensa. Esta estratificación anormal para la localidad promovió una gran y temprana floración de diatomeas que se desplomó rápidamente dejando aguas superficiales altamente pobres en nutrientes. Bajo estas condiciones, la germinación controlada por un reloj interno de los quistes de *Alexandrium* spp., introdujo células vegetativas en esas aguas, y el crecimiento se vio limitado por las condiciones desfavorables. Este ejemplo enfatiza las dificultades que algunas especies de FAN pueden tener para lidiar con los cambios de estratificación que exceden los niveles de variabilidad interanual a los que se han adaptado (McGillicuddy *et al.*, 2011).

En general, se prevé que las temperaturas globales mayores incrementen la estratificación, aunque los patrones futuros podrían variar debido a factores como tormentas intensas y precipitaciones. La geografía local, incluidas las características de las cuencas hidrográficas, tiene un papel fundamental en la respuesta de las FAN a estos cambios, ya que el aumento de las precipitaciones puede afectar el caudal de los ríos y la dinámica de los nutrientes. Si bien algunas especies de FAN prosperan en condiciones estratificadas (Berdalet *et al.*, 2014), la interacción entre el aumento de la temperatura y la alteración de la disponibilidad de nutrientes puede reducir el potencial de FAN en ciertas regiones (Wells *et al.*, 2020).

4.3 Efectos de la alteración del campo luminoso

Las proyecciones del CC indican un aumento constante de la cobertura de nubes a una altitud cercana a los 10 km (cerca de la tropopausa: zona de la atmósfera que separa la troposfera de la estratosfera; Fig. 6 flecha roja) y una disminución de la fracción de nubes entre 50°N y 50°S (área indicada con una curva azul y nubes tachadas con rojo; Fig. 6), con excepciones cerca del ecuador (Stocker *et al.*, 2013). Estos cambios podrían afectar el metabolismo del fitoplancton y la composición de la comunidad, lo que podría llevar a un aumento de las FAN, en particular, en condiciones de alta irradiación o profundidades de campo de luz alteradas. También se espera que (*in situ*) los campos de luz cambien en función de la presencia de material particulado proveniente de la escorrentía y/o el derretimiento del hielo (Häder *et al.*, 2015). Contrariamente, la expectativa de capas mixtas más superficiales, debido al aumento de la estratificación, hará que el fitoplancton esté expuesto a mayores intensidades de radiación fotosintéticamente activa (PAR: 400-700 nm) y

radiación ultravioleta (UVR: 315-400 nm). Cualquier efecto de la UVR, particularmente la UVB (280-315 nm), puede aumentar, ya que se espera que la presencia de mayores cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera retrasen la recuperación de la capa de ozono (McKenzie *et al.*, 2010). Actualmente no hay información convincente de que los cambios en los campos de luz causarán una selección competitiva de especies FAN; el aumento de la penetración de la luz podría magnificar las FAN de alta biomasa, y algunas toxinas podrían sobre-sintetizarse en aquellas especies en las que estas moléculas son un mecanismo de protección contra la radiación ultravioleta.

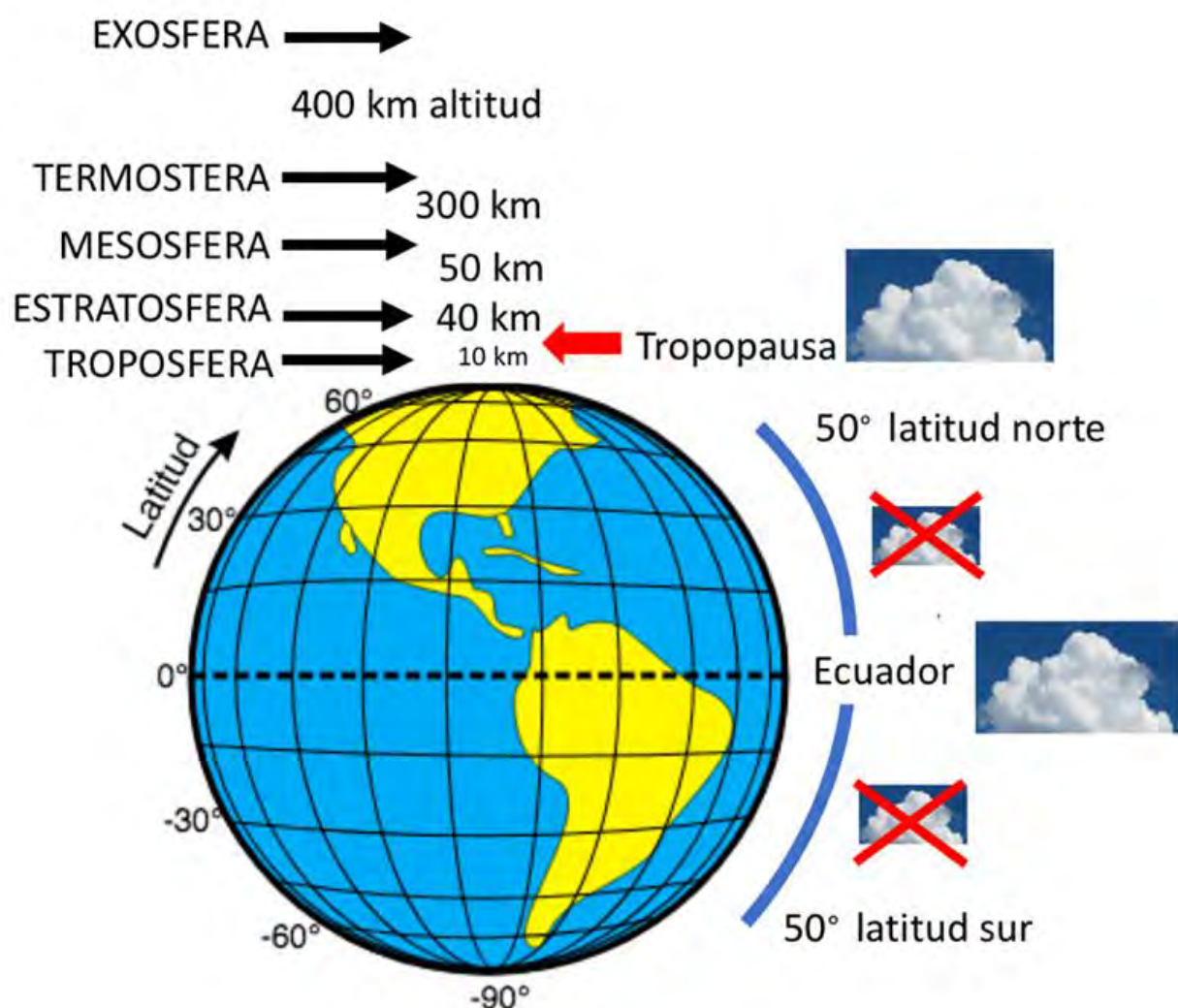


Figura 6. Ilustración de las capas de la atmósfera terrestre y la relación entre la latitud y la presencia de nubes de acuerdo a las proyecciones del CC. Se observa un aumento en la cobertura de nubes a una altitud cercana a los 10 km (cerca de la tropopausa) y una disminución entre 50°N y 50°S (área indicada con una curva azul), con excepciones cerca del ecuador.



4.4 Efectos de la acidificación de los océanos

El aumento del CO₂ atmosférico se modula, en parte, por su disolución en las aguas superficiales del mar, lo que conduce a la acidificación de los océanos (AO, por sus siglas en español) (Stocker *et al.*, 2013). La AO es una consecuencia del CC, y puede influir en todas las aguas superficiales del océano. Aunque es incierto, las proyecciones sugieren que el pH de las aguas superficiales puede disminuir entre 0.3 y 0.4 unidades para finales del siglo XXI, y que las regiones de afloramientos serán lugares de acidificación extrema (Feely *et al.*, 2008). Aunque la mayor parte de las preocupaciones de la AO se han centrado en los organismos marinos que precipitan el carbonato de calcio (p. ej. corales, moluscos), los cambios dependientes del pH en el sistema de carbonato marino también tienen amplias implicaciones para la adquisición de carbono tanto para el fitoplancton marino como para la microbiota (Wells *et al.*, 2015). El aumento progresivo de la AO tiene el potencial de alterar muchos aspectos de la fisiología del fitoplancton, resultando en: 1) el aumento de pCO₂ (reduciendo el valor y los costos de la CCM), y 2) de la posible alteración de los gradientes de protones transmembrana (con impactos en el transporte de iones y en las actividades de los canales iónicos). Entre los efectos más leves se incluyen alteraciones de la química de los micronutrientes con probables impactos en su biodisponibilidad. Ambos efectos ejercerán una presión selectiva sobre la composición de la comunidad del fitoplancton. Por ejemplo, una característica dinámica y competitiva de muchas especies productoras de FAN, es su capacidad de migrar verticalmente nadando activamente. Una pCO₂ reducida puede afectar la capacidad de nado de al menos una especie formadora de FAN; por ejemplo, la rafiidofita *Heterosigma akashiwo* modifica su comportamiento de nado a pH más bajo, lo que puede restringir la formación de floraciones superficiales dañinas. Otras especies formadoras de FAN alterarían su comportamiento de nado en función del potencial de incorporación de nutrientes o las actividades mixotróficas. Los impactos de la AO en los herbívoros también son un aspecto importante de la dinámica del plancton, a menudo subestimado. Directamente, el crecimiento y la actividad de los copépodos resultan adversos; la sucesión y el éxito de las especies formadoras de FAN y no formadoras de FAN también se verán afectados, independientemente de si existe un vínculo primario directo entre la AO y el crecimiento de las especies formadoras de FAN.

4.5 Efecto de la concentración y tipo de nutrientes

El CC puede afectar directamente el suministro y la composición de nutrientes en las aguas costeras al alterar la precipitación y la intensificación hidrológica. De hecho, la mezcla vertical será más fuerte o débil debido a la fuerza del viento y las tormentas. Se ha propuesto que la precipitación aumentará en algunas regiones, es probable que disminuya en otras. A largo plazo, los cambios regionales en la precipitación absoluta, o la intensificación hidrológica (eventos extremos que van desde lluvias intensas hasta sequías prolongadas), afectarán la salinidad, la estratificación y la turbulencia, así como la estructura vertical de la columna de agua. Los cambios en la escorrentía terrestre probablemente dominarán los cambios impulsados por el clima en el flujo de nutrientes a las aguas costeras. Mientras que, la fuerza del viento y las tormentas controlarán el arrastre y el flujo vertical de nutrientes en entornos pelágicos y bentónicos. Lo más probable es que los factores climáticos locales del componente hidrológico como la mezcla de vientos, lavado de bahías, los cambios en la estratificación, y los cambios a gran escala como corrientes oceánicas y surgencias, sean los que se requieran para justificarlos como factores climáticos de la iniciación o la estabilidad de FAN (Wells *et al.*, 2020).

Diversas especies que causan FAN son principalmente fotoautótrofas, con necesidades de micronutrientes generalmente simples. La mayoría de las FAN de alta biomasa, que en muchos casos resultan en hipoxia, pueden estar vinculadas a la eutrofización antropogénica (Paerl *et al.*, 2014), pero en cuanto a las floraciones “naturales”, hay poca comprensión de las razones inmediatas para la selección de especies dentro de estas floraciones de fitoplancton. Si bien las floraciones de alta biomasa están bien estudiadas, las razones detrás de la selección de especies en floraciones “naturales” siguen siendo poco conocidas. Para su estudio, el enfoque más común es cuantificar la presencia o el flujo de formas disueltas de nitrógeno, fósforo y silicio, o nutrientes traza como el hierro y las vitaminas, y luego buscar correlaciones con los resultados competitivos entre las especies (p. ej. preferencias de nutrientes, afinidades de nutrientes). Si bien, las métricas más comunes para comprender la dinámica competitiva entre las especies FAN son la acumulación de biomasa (es decir, la asimilación de una porción mayor del conjunto de nutrientes) o los cambios en los niveles de toxinas que afectan a la sociedad, a los organismos o al ecosistema; el desafío continúa siendo ¿cómo predecir y/o cómo se afectarán las FAN ante el cambio en los flujos de nutrientes debido al CC? (Wells *et al.*, 2015).



Los efectos del clima en la disponibilidad de nutrientes (macro- y micronutrientes como metales traza, vitaminas, entre otros) y "presas" (partículas fagotróficas) son elementos básicos para la formación de una comunidad de FAN. Los cambios en la escorrentía y el aumento de la meteorización química (alteración de los minerales debido a reacciones químicas entre los minerales de las rocas y elementos del medio natural u otros materiales) afectarán la magnitud y las proporciones relativas de las formas disueltas, en comparación con la disponibilidad de silicio (Si), nitrógeno (N), fósforo (P) y carbono (C) en sus formas inorgánicas u orgánicas. Se ha invertido mucho esfuerzo en determinar si la disponibilidad de múltiples formas de N, por no hablar de otros sustratos, afecta a las especies de FAN o a su toxicidad. El fitoplancton no siempre considera los sustratos nutritivos de un elemento dado como iguales. Por lo tanto, los sustratos nitrogenados comunes (amonio, nitrato, urea) tendrán efectos muy diferentes en el crecimiento y la toxicidad de las especies de FAN compuestas por dinoflagelados y diatomeas. Actualmente, la evidencia disponible no es suficiente para ampliar las extrapolaciones sobre si algunos sustratos nitrogenados mejoran o modifican el desarrollo de las FAN o su toxicidad. La relación entre dichos cambios y el éxito competitivo de las FAN depende en gran medida de su impacto en la cinética de la absorción de nutrientes, aunque la cinética del N, P (y Si, para las diatomeas) no se comprende lo suficiente, como para predecir si las especies que producen FAN o no, darán respuestas diferenciales. Tampoco se sabe si los cambios mediados por el clima en el entorno abiótico, por ejemplo, el pH y la temperatura, cambiarían estos parámetros cinéticos. Es más, se podría considerar la cinética de la absorción de nutrientes como una "variable de respuesta" para proporcionar una indicación de cómo las células y las comunidades de plancton responderán a los impulsores del clima. No se ha encontrado una relación única entre el contenido de toxinas y la disponibilidad o las formas de nutrientes para todas las especies de FAN, ni siquiera dentro de los géneros.

Actualmente, el conocimiento es insuficiente para determinar cómo las concentraciones absolutas y la especiación de nutrientes desafían la capacidad metabólica del fitoplancton, por lo tanto, hay una capacidad limitada para predecir cómo los cambios en concentración y/o tipo de nutrientes resultarán en "ganadores" y/o "perdedores" dentro de los ensambles naturales de fitoplancton. El CC afectará el flujo de nutrientes a las aguas superficiales, a través de la alteración en la mezcla vertical y la escorrentía, y el desafío será incorporar medidas cuantitativas de la adquisición de nutrientes entre especies fitoplancton, junto con los efectos de la variabilidad de las cepas, para pronosticar los resultados probables. Además, en muchas regiones sigue siendo un desafío diferenciar entre las presiones del CC y las derivadas de los cambios sociales (poblacionales/ sociales/ económicos) (Wells *et al.*, 2022).

4.6 Efectos del pastoreo sobre las FAN

La mayor parte de las investigaciones sobre FAN se han centrado en los factores que influyen en el éxito y la biomasa de las especies, mientras que el papel de las presiones del pastoreo sigue siendo poco comprendido, en particular en FAN tóxicas y de gran biomasa. El pastoreo introduce complejidad en la dinámica de las FAN, ya que interactúa con diversos factores de estrés ambiental, como la temperatura y los niveles de nutrientes. En las aguas costeras, el escaso conocimiento de la dinámica planctónica depredador-presa, implica que los efectos del pastoreo siguen siendo uno de los problemas más complejos para los científicos estudiosos de las FAN. El pastoreo puede controlar la biomasa del fitoplancton, pero no se sabe con certeza hasta qué punto la presión de pastoreo, ya sea específica o general, aumentará o reducirá la abundancia relativa de las especies FAN. Al parecer no hay ningún rasgo fisiológico o ecológico unificado entre las FAN, que las distinga claramente de otras especies de fitoplancton, en cuanto a su respuesta a la presión de pastoreo (Wells *et al.*, 2015). Por ejemplo, Ladds y Gobler (2025) observaron que la reducción de la presión de pastoreo al inicio de las floraciones puede permitir la proliferación de *Dinophysis acuminata* en los estuarios de Nueva York, mientras que el aumento del pastoreo durante el pico de la floración puede ayudar a controlarla. Además, ellos encontraron que ciertos copépodos juveniles pueden desencadenar floraciones al iniciar una cascada trófica (los cambios de abundancia de depredadores, ubicados en los niveles de las redes tróficas, afectan la abundancia de las especies que se encuentran en los niveles más bajos; González Dávila, 2017).

Cada vez hay más pruebas de que algunas veces las toxinas pueden tener algún efecto inhibitor sobre los herbívoros. Por ejemplo, la presencia de toxinas PSP en las células de *Alexandrium* spp. provocan un comportamiento de selectividad por parte de los copépodos, lo que consecuentemente, reduce el pastoreo (Wells *et al.*, 2020). Además, dada su toxicidad, se han atribuido reducciones similares en las tasas de pastoreo de copépodos con *Karenia brevis*. Muy pocos estudios experimentales han evaluado las interacciones tóxicas entre FAN y animales de pastoreo. Alternativamente, existen casos en los que las presiones de pastoreo podrían inducir a los organismos FAN a agruparse de forma más cohesiva. Dada la proyección de precipitaciones episódicas más intensas bajo el CC, tal vez las condiciones oceanográficas que favorecen las FAN se vuelvan más comunes. Sin embargo, la gran cantidad de biomasa (o biomasa-toxina) no es el único problema de la FAN, ya que algunos eventos tóxicos pueden desarrollarse con abundancias celulares de unos pocos cientos de células por litro. No obstante, a la fecha aún existe una gran



laguna de datos concretos sobre las interacciones depredador-presa, y se necesitan experimentos adecuados que proporcionen las mediciones de la tasa crítica para cuantificar los impactos del pastoreo.

5. Efectos de múltiples factores estresantes sobre las FAN

La mayoría de los estudios de laboratorio sobre los factores ambientales que afectan las floraciones de algas nocivas (FAN) tienden a centrarse en variables individuales, lo que puede pasar por alto las complejas interacciones que influyen en el desarrollo de las floraciones. Por ejemplo, el estrés nutricional aumenta la sensibilidad a la radiación UV en las diatomeas, pero no tiene el mismo efecto en la cianobacteria *Nodularia spumigena* (Mohlin *et al.*, 2012), lo que indica que las condiciones de múltiples factores de estrés no siempre producen efectos negativos aditivos. Las interacciones entre factores como la estratificación y la limitación de nutrientes pueden promover o inhibir la formación de FAN, y resalta la importancia de estudiar múltiples factores de estrés simultáneamente. Para comprender mejor la dinámica de las FAN, es crucial realizar estudios interactivos de parámetros e incorporar estos hallazgos en modelos predictivos para fundamentar las iniciativas de investigación y gestión (Wells *et al.*, 2020).

5.1 Presiones locales introducidas por el hombre y el CG

Los cambios relacionados con el clima, como el aumento de la intensidad de las tormentas, la frecuencia de los huracanes y las grandes inundaciones, pueden alterar las barreras biogeográficas naturales, permitiendo que las floraciones de algas nocivas (FAN) se expandan a nuevas regiones. Sin embargo, estas especies también pueden ser transportadas a través de agua de lastre (Hallegraeff, 2007) o por el trasplante de organismos utilizados en acuicultura, lo que lleva a su introducción en zonas donde no se encuentran de forma natural y al posible desplazamiento de especies nativas. Este mecanismo de transporte puede generar señales engañosas sobre el impacto del cambio climático en las comunidades de fitoplancton y la prevalencia de FAN. Además, factores antropogénicos como el crecimiento poblacional y la eutrofización pueden influir en la dinámica de las FAN, pero las condiciones socioeconómicas regionales pueden enmascarar o complicar los efectos ecológicos del cambio climático, lo que pone de relieve la necesidad de métricas adecuadas para comprender estas complejas interacciones (GEOHAB, 2006).

5.2 Pesca, acuicultura y floraciones de algas nocivas

Para abordar eficazmente los impactos futuros de las floraciones de algas nocivas (FAN) en la pesca y la acuicultura, es necesario ampliar las estrategias actuales de monitoreo, para incluir un muestreo exhaustivo de las comunidades fitoplanctónicas y los parámetros oceanográficos, lo que permitirá el desarrollo de conjuntos de datos ecofisiológicos robustos sobre las FAN. Estos programas deben centrarse en la identificación y estimación de especies tóxicas dentro de la biomasa total del fitoplancton y emplear ensayos específicos para detectar una gama más amplia de toxinas, incluyendo aquellas que afectan a diversos organismos silvestres o cultivados. Los avances en ensayos químicos y celulares, junto con las técnicas nucleares e isotópicas, facilitan la detección precisa de biotoxinas y la comprensión de su transferencia a través de la red alimentaria. Además, el desarrollo de sistemas de alerta temprana a corto plazo basados en datos satelitales, modelos hidrodinámicos e infraestructura de monitoreo existente puede ayudar a predecir la ocurrencia de FAN, permitiendo a las industrias y a los administradores implementar medidas de mitigación oportunas y adaptarse a los cambios a largo plazo en los patrones de FAN impulsados por el clima.

6. Especies y cepas clave para la investigación centrada en las floraciones de algas nocivas y el cambio climático

A nivel global, los investigadores que estudian las FAN se han centrado en un grupo selecto de especies, de alta biomasa, tanto pelágicas como bentónicas (Tablas 2, 2.1 y 2.2), para mejorar los esfuerzos de investigación y comprender mejor los impactos del cambio climático. Aunque este enfoque específico podría facilitar la evaluación de cómo los factores climáticos influyen en la fisiología y la toxicidad de las especies de FAN (Wells *et al.*, 2020) que afectan la salud humana, existe un vacío de conocimiento en especies que pueden ser nocivas para otros organismos, pero su impacto en la salud humana es menor o incluso no se ha documentado.

La comunidad científica, ha propuesto una lista de especies (en las que se centra la investigación molecular –sin descartar a los taxónomos–, que provee resultados en corto plazo) que tiene como criterios principales la mortalidad humana, el número de personas hospitalizadas y los impactos económicos o ecológicos locales (Tabla 1).

Finalmente, el deseo de converger en especies particularmente problemáticas debe equilibrarse con una apreciación de la dificultad de cultivarlas. Puede ser que las especies no FAN resulten más valiosas que las especies FAN para desentrañar las respuestas metabólicas generales a los



impulsores climáticos utilizando herramientas moleculares; respuestas metabólicas que luego pueden investigar en especies de floraciones de algas nocivas. El uso de un enfoque tan reductivo podría acelerar enormemente los avances en la comprensión de cómo los factores climáticos regulan la fisiología, la toxicidad y, en última instancia, el éxito competitivo de las especies FAN.

Tabla 2. Especies clave para la investigación centrada en las FAN y CC (elaborado a partir de Wells, et al., 2020; EPA, 2025; Hallegraef et al., 2003).

Grupo	Toxina	Genero	Especies tóxicas	
Dinoflagelados	DSP (Diarreicas)	<i>Dinophysis</i>	<i>D. acuta</i> <i>D. acuminata</i> <i>D. caudata</i> <i>D. fortii</i> <i>D. hastata</i>	<i>D. norvegica</i> <i>D. ovum</i> <i>D. rotundata</i> <i>D. sacculus</i> <i>D. tripos</i>
		<i>Prorocentrum</i>	<i>P. arenarium</i> <i>P. concavum</i> (o <i>P. maculosum</i>) <i>P. lima</i> <i>P. redfieldi</i>	
	PSP (paralíticas)	<i>Alexandrium</i>	<i>A. affine</i> <i>A. australiense</i> <i>A. catenella</i> <i>A. coarctata</i> <i>A. fraterculus</i>	<i>A. fundyense</i> <i>A. mediterraneum</i> <i>A. minutum</i> <i>A. pacificum</i> <i>A. tamarense</i>
		<i>Gymnodinium</i>	<i>G. catenatum</i>	
		<i>Pyrodinium</i>	<i>P. bahamense</i>	
	CTX (ciguatera)	<i>Gambierdiscus</i>	<i>G. toxicus</i>	
		<i>Margalefidinium</i> (antes <i>Cochlodinium</i>)	<i>M. polykrikoides</i>	
	NSP (neurotóxicas)	<i>Karenia</i>	<i>K. brevis</i>	
	AZP (azaspirácidas)	<i>Azadinium</i>	<i>A. spinosum</i> <i>A. caudatum</i>	
		<i>Amphidoma</i>	<i>A. languida</i>	
Rafidofita	NSP (neurotóxicas)	<i>Heterosigma</i>	<i>H. akashiwo</i>	
		<i>Fibrocapsa</i>	<i>F. japonica</i>	
		<i>Vicicitus</i>	<i>V. anticua</i> <i>V. marina</i> <i>V. globosus</i>	
Diatomea	ASP (amnésica)	<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>P. australis</i> <i>P. delicatissima</i> <i>P. fraudulenta</i> <i>P. multiseriata</i>	<i>P. pseudodelicatissima</i> <i>P. pungens</i> <i>P. seriata</i> <i>P. turgidula</i>
Microalga	Ictiotoxinas	<i>Prymnesium</i>	<i>P. parvum</i>	
Cianobacteria	Microcistinas (MC-LR)	<i>Microcystis</i>	<i>M. aeruginosa</i>	
		<i>Dolichospermum</i>	<i>Dolichospermum</i> sp.	
	Hepatotoxinas	<i>Nodularia</i>	<i>N. spumigena</i>	

Tabla 2.1 Imágenes representativas de las especies clave de dinoflagelados para la investigación centrada en las FAN y CC.


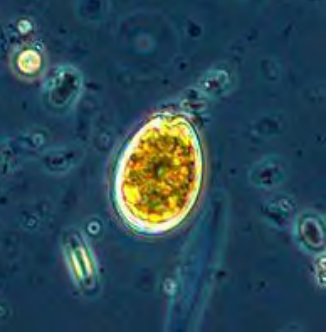
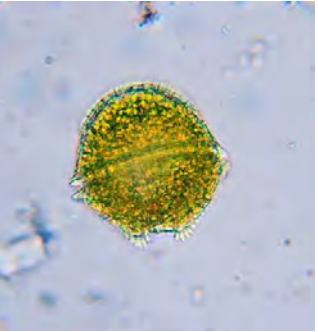
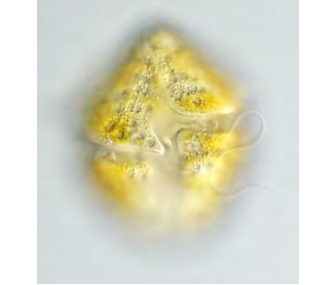

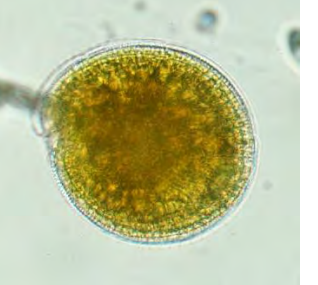

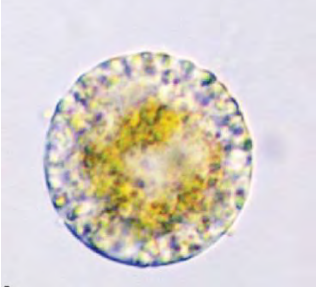
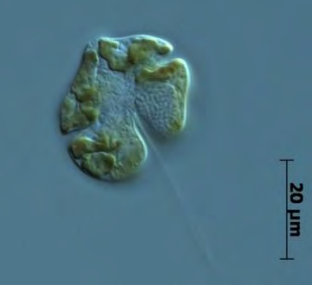
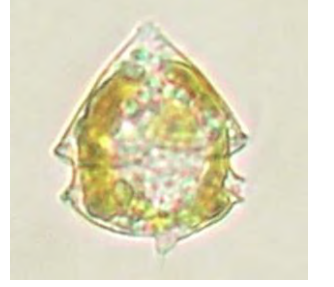
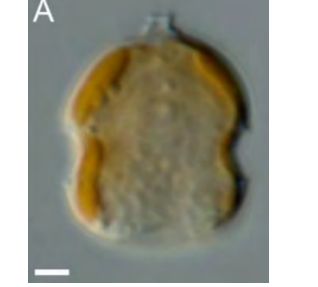



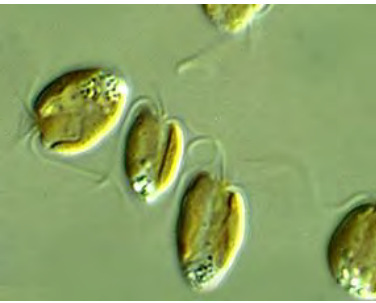
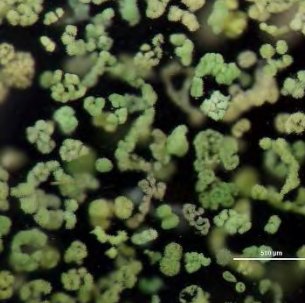

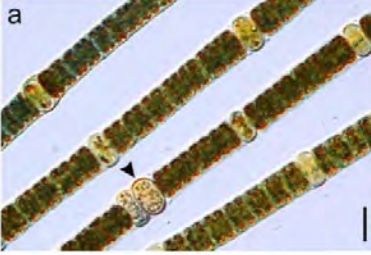
 <p><i>Dinophysis</i> sp. De Marulio - CC BY-SA 3.0</p>	 <p><i>Prorocentrum lima</i> Cybergerac- CC BY-SA 4.0</p>	 <p><i>Alexandrium minutum</i> Philippe Garcelon - CC BY 2.0</p>
 <p><i>Gymnodinium catenatum</i> Hansen, Gert - CC BY-NC-SA 4.0</p>	 <p><i>Pyrodinium bahamense</i> Garate Lizarraga</p>	 <p><i>Gambiesdiscus toxicus</i> Rodriguez, F.</p>
 <p><i>Margalefidinium polykrikoides</i> S. Morton, NOAA</p>	 <p><i>Vicicitus globosus</i> Chang, F.K.</p>	 <p><i>Karenia brevis</i> CCMP2229</p>
	 <p><i>Azadinium caudatum</i> Robin Raine</p>	 <p><i>Amphidoma languida</i> Tillman et al.</p>



Tabla 2.2 Imágenes representativas de las especies de rafidofitas, diatomeas, microalgas (alga dorada) y cianobacterias clave para la investigación centrada en las FAN y CC.

 <p><i>Heterosigma akashiwo</i> Larsen, Jacob</p>	 <p><i>Fibrocapsa japonica</i> Moestrup, Øjvind 2024</p>	 <p><i>Pseudo-nitzschia seriata</i> M Himemiya - CC BY-SA 3.0</p>
 <p><i>Prymnesium parvum</i> Inst IAS Exam</p>	 <p><i>Microcystis sp</i> US NOHAB</p>	 <p><i>Dolichospermum sp</i> rmatth – CC BY-NC-SA</p>
 <p><i>Nodularia sp</i> McGregor et al</p>		

7. Consideraciones finales y perspectivas

Aún existe una seria ausencia de datos de series temporales de alta calidad en la mayoría de las regiones que actualmente experimentan brotes de FAN, y pocos o ninguna información de las regiones que se espera que desarrollen eventos FAN en el futuro. Por lo tanto, sería recomendable que la comunidad científica acuerde un subconjunto de localidades de observación para ayudar a desarrollar vínculos más sólidos entre el CC global, nacional y regional y los programas de observación de FAN, proporcionando conjuntos de datos fundamentales para investigar los cambios globales en la prevalencia de FAN. Durante las próximas décadas, la predicción de cambios en los patrones de FAN dependerá de considerar las FAN dentro del contexto competitivo de las comunidades de plancton y vincular estos conocimientos con los modelos ecosistémicos, oceanográficos y climáticos. Desde una perspectiva más amplia, el nexo entre la ciencia de las FAN con las ciencias sociales no ha sido suficientemente analizado, limitando la evaluación cuantitativa de los futuros impactos por cambios en la ocurrencia y duración de las FAN en el bienestar humano. Estos cambios en la investigación de las FAN, serán necesarios si se desea que la ciencia de las FAN obtenga evidencia convincente de que el CC ha causado alteraciones en la distribución, prevalencia de las FAN, lo que además ayudaría a desarrollar evidencia teórica, experimental y empírica que explique los mecanismos que sustentan estos cambios ecológicos.

Literatura citada

1. Barange M., et al. 2018. *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. [FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627](#). Rome, FAO. 628 pp
 2. Bayon A. 2024. *Rubisco: la proteína de la que depende toda la vida del planeta*. Muy Interesante, [Naturaleza](#).
 3. Beardall J., et al. 2009. *Living in a high CO₂ world: impacts of global climate change on marine phytoplankton*. [Plant & Ecology Diversity](#), 2(2): 191–205.
 4. Berdalet E., et al. 2014. *Understanding harmful algae in stratified systems: Review of progress and future directions*. [Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography](#), 101:4-20.
- Brandenburg K.M., et al. 2019. *Meta-analysis reveals enhanced growth of marine harmful algae from temperate regions with warming and elevated CO₂ levels*. [Glob. Change. Biol.](#), 25(8): 2607-2618.



5. COPRISJAL. 2025. [Marea Roja](#). Consultado 14/02/2025.
6. Durán-Riveroll D.M., et al. 2025. *Mareas rojas en las costas de México: estado actual y perspectivas*. [Ecológica, La Jornada](#). Consultado 26/03/2024.
7. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2025. *Learn about Harmful Algae, Cyanobacteria and Cyanotoxins: Overview of Harmful Algae*. Consultado 14/02/2025.
8. Feely R.A., et al. 2008. *Evidence for Upwelling of Corrosive "Acidified" Water onto the Continental Shelf*. [Science](#), 320:1490-1492.
9. Feng L., et al. 2024. *Harmful algal blooms in inland waters*. [Nat. Rev. Earth Environ.](#), 5:631–644.
10. Gárate-Lizárraga I., Verdugo-Díaz G. 2024. *Importancia ecológica y social de las mareas rojas en Baja California Sur*. [Resonancia Científica. COSCyT](#). Consultado 26/03/2024.
11. GEOHAB. 2006. *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Harmful Algal Blooms in Eutrophic Systems*. P. Glibert (ed.). [IOC and SCOR](#), Paris and Baltimore, 74 pp.
12. GEOHAB. 2013. *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, GEOHAB core research project: HABs in stratified systems*. In: McManus, M.A., Berdalet, E., Ryan, J., Yamazaki, H., Jaffe, J.S., Ross, O.N., Burchard, H., Chavez, F.P. (Eds.), [IOC and SCOR](#), Paris and Newark, Delaware, pp. 62.
13. Glikson A.Y., Groves C. 2016. *The Anthropocene*. In: *Climate, Fire and Human Evolution*. [Modern Approaches in Solid Earth Sciences, vol 10](#). Springer, Cham.
14. González Dávila, G. 2017. *Cascadas tróficas*. [CeIBA](#). Consultado 08/09/2025.
15. Häder D.P., et al. 2015. *Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors*. [Photochem Photobiol Sc](#), 14:108–126.
16. Hallegraeff G.M. 2003. *Harmful algal blooms: a global overview*. En: *Manual of Harmful Marine Microalgae*. Eds. Hallegraeff G.M., Anderson D.M., Cembella A.D. Intergovernmental Oceanographic Commission ([COI, UNESCO](#)). p.p 25-49.
17. Hallegraeff G.M. 2007. *Special Issue: ballast water*. [Harmful Algae](#), 6:461-464.
18. Hallegraeff G.M., et al. 2003. *Manual of Harmful Marine Microalgae*. Intergovernmental Oceanographic Commission ([COI, UNESCO](#)) 565pp.
19. Kennedy C., Lindsey R. 2015. *What's the Difference between Global Warming and Climate Change?* [National Oceanic and Atmospheric Administration](#). Consultado 21/02/2025.
20. Kim D-S., et al. 2020. *KIOST long-term monitoring system of the marine environment and ecosystem*. [Instituto Coreano de Ciencias y Tecnología Oceánicas](#). Consultado 20/02/2025.
21. Ladds M., Gobler C.J. 2025. *Zooplankton grazing can facilitate and control the proliferation of harmful algal blooms caused by *Dinophysis acuminata* in NY, USA, estuaries*. [Harmful Algae](#), 142:102789.
22. Licea S. 2019. *El fitoplancton, básico para la vida en la Tierra*. [Gaceta UNAM](#). Consultado 14/02/2025.

23. McGillicuddy D.J., et al. 2011. Suppression of the 2010 *Alexandrium fundyense* bloom by changes in physical, biological, and chemical properties of the Gulf of Maine. [Limnol. Oceanogr. 56\(6\):2411–2426](#).
24. McKenzie R.L., et al. 2010. *The environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change*. En: [UNEP Assessment Panel Report for 2010, p. 1-30](#).
25. Miklos G., Jones-Couture S. 2018. *La tecnología nuclear y el clima: Mitigación, monitorización y adaptación*. [Boletín del OIEA](#), 5(3). Consultado 12/02/2025.
26. Mohlin M., et al. 2012. *Interspecific Resource Competition—Combined Effects of Radiation and Nutrient Limitation on Two Diazotrophic Filamentous Cyanobacteria*. [Microb Ecol., 63:736–750](#).
27. Mundo. 2023. *Cambio climático: Glaciación o calentamiento global ¿Hacia dónde vamos?* [Fórmula Mx](#). Consultado 21/02/2025.
28. Paerl H.W. et al. 2014. *Evolving Paradigms and Challenges in Estuarine and Coastal Eutrophication Dynamics in a Culturally and Climatically Stressed World*. [Estuaries and Coasts, 37:243–258](#).
29. Stocker T.F., et al. 2013. [IPCC, 2013: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#). Cambridge University Press; Cambridge, United Kingdom and New York, NY USA. p. 1535
30. Trimborn S., et al. 2008. *Inorganic carbon acquisition in potentially toxic and non-toxic diatoms: The effect of pH-induced changes in seawater carbonate chemistry*. [Physiologia Plantarum, 133\(1\):92–105](#).
31. Van de Waal D.B., et al. 2019. *Highest plasticity of carbon concentrating mechanisms in earliest evolved phytoplankton*. [Limnology and Oceanography Letters, 4\(2\):37–43](#).
32. Wells M.L., et al. 2020. *Future HAB science: Directions and challenges in a changing climate*. [Harmful Algae, 91:101632](#).
33. Wells M.L. 2015. *Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future*. [Harmful Algae, 49:68-93](#).
34. WHO (World Health Organization). 2025a. *HAB species by name*. [U.S. National Office for Harmful Algal Blooms](#). Consultado 20/03/2025.
35. WHO (World Health Organization). 2025b. *HAB species organized by syndrome*. [U.S. National Office for Harmful Algal Blooms](#). Consultado 20/03/2025.
36. Wikipedia. 2025. *Raphidophyceae*. [Wikipedia](#). Consultado 20/03/2025.



Cita

Hernández-Saavedra, N.Y. El cambio climático y las floraciones de algas nocivas (FAN): un desafío creciente para los ecosistemas acuáticos marinos. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 12-37. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0002>

Sometido: 26 de mayo de 2025

Aceptado: 23 de septiembre de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

The risk of the El Niño phenomenon for marine fisheries on a global scale

El riesgo del fenómeno de El Niño para las pesquerías marinas a escala mundial

Salvador E. Lluch-Cota¹ y Daniel B. Lluch-Cota¹ *

Resumen

El Niño es un fenómeno climático recurrente y con impactos globales. Se origina en el océano Pacífico y provoca cambios en la distribución de la temperatura del mar, la circulación atmosférica y diversos ecosistemas. Sus impactos son significativos para el bienestar humano, la economía de algunas regiones y la seguridad alimentaria global. Estudios recientes de la FAO evaluaron el riesgo que representa El Niño para las pesquerías del mundo a través de tres factores: qué tan fuerte se siente El Niño en cada región (peligro), cuántas pesquerías son afectadas (exposición) y cuánto disminuyen las capturas (vulnerabilidad). Encontraron que las zonas más afectadas están frente a Sudamérica, en el Pacífico tropical occidental y en todo el océano Índico. Aunque existen modelos para predecir El Niño, todavía es difícil anticipar con precisión cuándo ocurrirá, qué tan intenso será y qué regiones afectará con más fuerza. Por eso, es clave fortalecer los sistemas de monitoreo marino y mejorar nuestra comprensión científica. A diferencia de la agricultura o la acuicultura, donde se pueden tomar medidas más directas para adaptarse, en la pesca no se puede controlar el ambiente natural. Esto resalta la importancia de conocer bien el océano y prepararse con información confiable como la principal medida de defensa.

Palabras clave: Variabilidad ambiental, ENSO, seguridad alimentaria, adaptación.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: slлуч@cibnor.mx



Abstract

El Niño is a recurring climate phenomenon with global impacts. It originates in the Pacific Ocean and causes changes in sea surface temperature distribution, atmospheric circulation, and various ecosystems. Its impacts are significant for human well-being, the economy of some regions, and global food security. Recent FAO studies evaluated the risk that El Niño poses to the world's fisheries through three components: how strong El Niño is felt in each region (hazard), how many fisheries are affected (exposure), and how much catches decrease (vulnerability). They found that the most affected areas are located off the coast of South America, in the western tropical Pacific, and throughout the Indian Ocean. Although there are models to predict El Niño, it is still difficult to accurately anticipate when will they occur, their intensity, and which regions it will affect most strongly. That's why it's crucial to strengthen marine monitoring systems and improve our scientific understanding. Unlike agriculture or aquaculture, where more direct measures can be taken to adapt, in fishing, the natural environment cannot be controlled. This highlights the importance of knowing the ocean well and preparing with reliable information as the primary defense measure.

Keywords: Climate variability, ENSO, food security, adaptation.

Antecedentes

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es un fenómeno climático natural caracterizado por el calentamiento y enfriamiento periódico del Pacífico tropical en una escala interanual. Su influencia en los patrones climáticos y meteorológicos a nivel mundial es sustancial y de gran alcance, abarcando alteraciones en la precipitación, las temperaturas de la superficie del mar y del aire, las corrientes oceánicas y las alteraciones de los ecosistemas terrestres y marinos.

En los últimos 120 años, los eventos de ENSO han ocurrido en promedio cada 3 años. Sin embargo, los episodios de la fase cálida, llamada El Niño, ocurren con más frecuencia y tienen efectos más severos en comparación con los episodios de la fase fría, llamados La Niña. La frecuencia de los eventos cambia significativamente a lo largo del tiempo, así como su intensidad, duración y expresión geográfica. En este sentido, los efectos de El Niño en los diferentes componentes de las sociedades humanas dependen no solo de la sensibilidad del sector afectado, sino también del tipo y magnitud del evento.

El Niño puede causar pérdidas económicas sustanciales en los países y regiones afectados, tanto directamente por los desastres naturales asociados al clima extremo, como indirectamente por sus efectos en diferentes aspectos de la producción económica, como los rendimientos de los cultivos y la pesca. Se ha estimado que los costos económicos globales de eventos fuertes de El Niño se ubican entre las decenas de miles de millones y los billones de dólares estadounidenses, por evento (Liu *et al.*, 2023).

Los impactos de El Niño pueden obstaculizar la seguridad alimentaria, especialmente en algunas regiones. Por ejemplo, el Niño del 2015-2016 perjudicó a más de 60 millones de personas a nivel mundial, lo que llevó a 23 naciones a solicitar 5 mil millones de dólares en ayuda humanitaria y aumentó el número de infantes con bajo peso en aproximadamente 6 millones en comparación con un escenario ENSO neutral (FAO, 2024).

Durante años de El Niño suelen presentarse condiciones más húmedas de lo normal en diversas regiones de África oriental, Asia oriental, el sur y centro de Asia, así como en el sur de Norteamérica y de Sudamérica. Al mismo tiempo, se observan condiciones anómalamente secas en África occidental y meridional, India, el sudeste asiático, Australia, el norte de América del Sur y América Central. La condición esencialmente opuesta ocurre durante los eventos de La Niña. En diversas regiones, estas anomalías pueden dañar una variedad de cultivos, especialmente los de temporal, incluyendo trigo, soya, maíz y arroz (Qian *et al.*, 2020).

En cuanto a los impactos sobre la producción de alimentos de origen marino, existen muchos reportes relacionados con regiones y pesquerías específicas, pero el análisis de los efectos a nivel global representa un reto importante. En años recientes, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha realizado un esfuerzo en este sentido, con resultados que han sido publicados en documentos técnicos de los que deriva esta revisión (Bertrand *et al.* 2020, FAO 2024, FAO 2024b), en algunos de los cuales participaron investigadores del Programa de Ecología Pesquera del CIBNOR.

El Niño

El ENSO es un fenómeno que se origina en el océano Pacífico tropical y tiene dos fases: El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría) y su relación con modificaciones la Oscilación del Sur, cuando cambia el gradiente de presión atmosférica entre el Pacífico oriental tropical y el océano Índico oriental que, en condiciones normales, mantiene una circulación de los vientos alisios moviendo agua y aire calentados por el sol de Este a Oeste a lo largo del Pacífico Ecuatorial, proceso conocido como Circulación de Walker. Durante un episodio de El Niño, la Circulación de Walker se debilita, lo que



resulta en menor transporte de agua desde la costa americana hacia el Pacífico occidental y, en consecuencia, que sean menos eficientes las corrientes oceánicas de afloramiento (surgencias) que normalmente traen a la superficie aguas frías y ricas en nutrientes de las profundidades del océano. En contraste, los eventos de La Niña se distinguen por una circulación de Walker más fuerte y el aumento del afloramiento de aguas frías en las costas del Pacífico ecuatorial americano.

Durante un El Niño, se alteran la distribución y patrones migratorios de especies marinas tropicales en busca de aguas menos calientes. El calentamiento de la capa superior y la reducción en el aporte de nutrientes por parte de las surgencias (fertilización) se reflejan en menor alimento disponible para los peces y otros organismos del mar (Bertrand *et al.*, 2020). Las anomalías y efectos de El Niño son transmitidos, desde el Pacífico ecuatorial, donde se manifiesta inicialmente, hacia mayores latitudes, por el océano a través de ondas Kelvin (ondas costeras atrapadas) que corren a lo largo de las costas occidentales de América del Norte y del Sur y a diversas regiones remotas del planeta a través de cambios en la circulación atmosférica. Estos cambios, conocidos como tele conexiones, son resultado de la reconfiguración en los campos de presión atmosférica que deriva en modificaciones de la temperatura del aire, la precipitación, la circulación de vientos y otras variables relacionadas con el clima en regiones distantes (FAO, 2024).

Para el noroeste mexicano, por ejemplo, Lluch-Cota *et al.* (1999) reportaron reducciones en captura de recursos masivos asociadas al evento extraordinario de 1997-1998 de más del 30 % en atunes del Pacífico, de 40 % para la sardina del Golfo de California y de más del 70 % para el calamar en Baja California Sur y Sonora.

La Figura 1 muestra la distribución espacial de la correlación entre el Índice Multivariado del ENSO (MEI; FAO, 2024), que es un indicador de la actividad del ENSO que combina información sobre variables atmosféricas y oceanográficas (Wolter y Timlin, 2011), y las series de tiempo de anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar para cuadrantes de 1°x1°, disponible en bases de datos públicas (Banzon *et al.*, 2022). Después de transformar las coordenadas a área, el análisis indica una correlación significativa en 84 de los aproximadamente 224 millones de kilómetros cuadrados del Océano Mundial, lo que corresponde al 23.2 % del área oceánica total (excluyendo las regiones de hielo marino), con poco más del 16 % correlacionados positivamente (anomalías cálidas durante eventos El Niño) y 7 % negativamente (anomalías frías). La mayoría del área correlacionada positivamente se encuentra en el Pacífico central y oriental, mientras que la correlación negativa ocurre en el lado occidental de la cuenca. Existe una proporción relativamente pequeña de correlación positiva en el Atlántico centro-oriental, suroccidental y sudoriental, y la mayor parte del océano Índico también presenta una correlación significativa positiva.

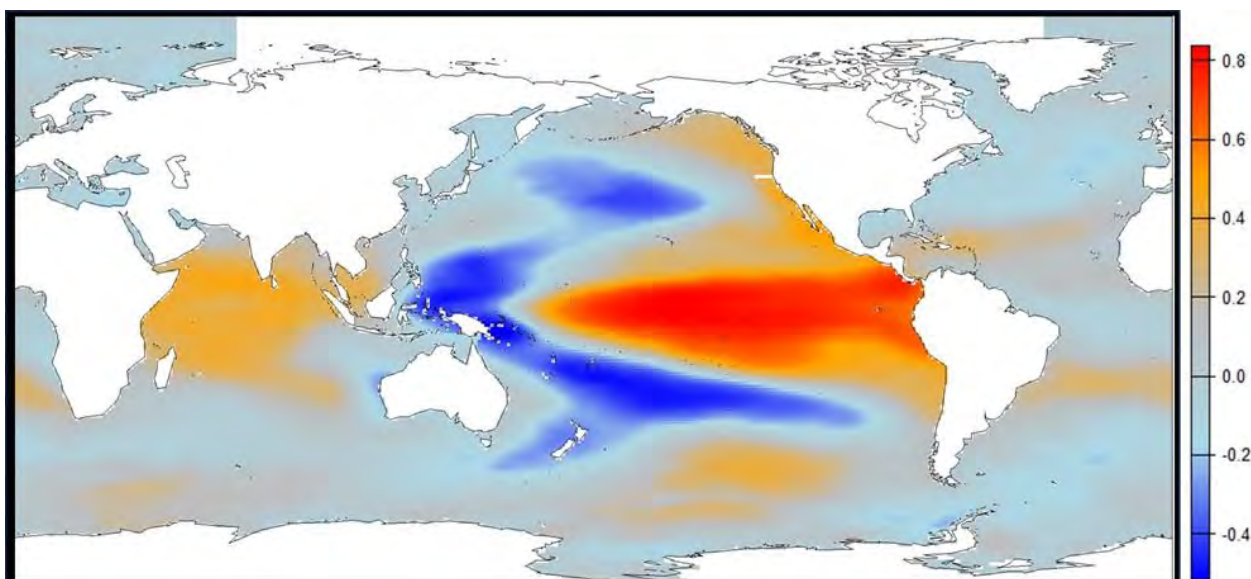


Figura 1. Manifestación espacial de los efectos del ENSO en temperatura superficial del mar, calculada a través de la correlación entre series de temperatura de cuadrantes de $1^\circ \times 1^\circ$ (NOAA Optimal Interpolation SST analysis; Banzon *et al.*, 2022) y el índice multivariado del ENSO (MEI; <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>; Wolter & Timlin, 2011). La escala de color representa el valor de la correlación.

Los eventos El Niño presentan una fuerte variación en cuanto a su intensidad, su evolución en tiempo y espacio, su interacción con el sistema climático y sus efectos (Capotondi *et al.*, 2020). Sin embargo, se pueden clasificar en dos grandes categorías: en los eventos conocidos como “típicos” o canónicos (también llamados clásicos), el calentamiento de la superficie del océano inicia frente a las costas de Perú y Ecuador, y luego se propaga hacia el Pacífico central a medida que el evento evoluciona. La profundidad de la capa mezclada aumenta también en el Pacífico oriental y se reduce significativamente en el occidental. Este tipo de eventos tiende a ser intenso y extenderse por periodos de alrededor de un año (y en casos extremos hasta dos años). En segundo tipo, conocido como Niños “Modoki”, el calentamiento inicia mayormente en el Pacífico central, flanqueado por condiciones menos cálidas en ambos extremos del Pacífico ecuatorial. La capa mezclada (profundidad de la termoclina) se incrementa ligeramente tanto en el Pacífico central como en el oriental, sus efectos generalmente menos intensos y su duración relativamente corta.

La frecuencia de cada tipo, así como su intensidad, cambia a lo largo del tiempo. La mayoría de los 14 eventos El Niño que ocurrieron entre 1900 y 1942 fueron típicos, cuatro de ellos considerados fuertes o muy fuertes. Entre los 1950s y los 1970s ocurrieron nueve eventos, seis de ellos típicos y tres de esos seis fueron muy intensos. Las décadas de los 1980s y 1990s se caracterizaron por dos eventos extraordinariamente fuertes, los de 1982-82 y 1997-98. Durante las primeras dos décadas del presente siglo, seis de ocho eventos ocurridos fueron del Pacífico central y únicamente ocurrió



un evento del Pacífico oriental, en 2015-16, considerado muy fuerte y que además ha sido uno de los de mayor duración. El evento reciente de 2023-24 fue también un evento típico y fuerte (FAO, 2024).

A pesar de que actualmente se tiene una cierta comprensión del fenómeno del ENSO y algunos de los mecanismos oceanográficos y atmosféricos involucrados en su dinámica, nuestra capacidad de predicción sigue siendo muy limitada. Existen diversos modelos diseñados para predecir la probabilidad de ocurrencia de eventos El Niño o La Niña, pero son aún incapaces de reducir la incertidumbre sobre el momento en que se disparan, su intensidad y duración. Las predicciones a corto plazo (hasta con unos meses de antelación) tienden a ser más precisas que las predicciones a más largo plazo. Si bien los modelos han mejorado con los años y existen diferentes enfoques y arquitecturas, aún son insuficientes para considerar todos los procesos involucrados en ENSO, de incorporar la variabilidad natural del sistema climático y su naturaleza estocástica.

Se están realizando investigaciones y avances continuos en la modelización climática, la asimilación de datos y la comprensión de los procesos físicos involucrados, con la finalidad de mejorar la predicción de ENSO. Algunas agencias, como la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), publican periódicamente pronósticos del ENSO para informar sobre la probabilidad de El Niño, La Niña o condiciones neutras en los próximos meses. Estas perspectivas son valiosas para diversos sectores, como la pesca y la acuicultura. Sin embargo, los usuarios deben ser conscientes de las incertidumbres inherentes a dichas predicciones.

A una escala temporal más amplia, investigaciones recientes basadas en modelos y análisis retrospectivos de registros observacionales indican una alta probabilidad de que las oscilaciones del ENSO hayan venido experimentando una amplificación del 10% desde 1960 (Cai *et al.*, 2021). Este aumento ha provocado episodios de El Niño y La Niña más frecuentes e intensos, y es atribuible al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Con base en estos resultados, se prevé que, en un escenario con altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero, las variaciones del ENSO aumentarán entre un 15% y un 20% adicional para finales de este siglo (Cai *et al.*, 2021). Los modelos indican que el principal responsable de esta respuesta es el cambio climático, que provoca que las capas superiores del océano en el Pacífico tropical se calienten más rápido que las capas más profundas, y esta estratificación intensifica la interacción entre el océano y la atmósfera, lo que conlleva una mayor amplitud del ENSO y fenómenos más intensos de El Niño y La Niña.

El riesgo para las pesquerías

El enfoque de riesgo utilizado en FAO (2024; 2024b) es una adaptación del implementado por el Panel Intergubernamental de cambio Climático (IPCC), que se define como el potencial de consecuencias negativas para los sistemas humanos o ecológicos (IPCC, 2022). El riesgo surge de la compleja interacción de tres factores: peligro, exposición y vulnerabilidad. El peligro es la posibilidad de que un evento tenga consecuencias adversas, considerando tanto su intensidad como la probabilidad de que ocurra en un lugar específico. La exposición y la vulnerabilidad son características inherentes a un sistema, donde la exposición se refiere al número de elementos del sistema que pueden verse afectados por un evento específico, mientras que la vulnerabilidad se refiere al alcance del impacto que el evento tendrá sobre dichos elementos. Adaptado al sistema de pesquerías marinas, se consideró como riesgo la probabilidad de que se presenten efectos desfavorables de eventos El Niño para las pesquerías marinas (Figura 2), el peligro se evaluó como la probabilidad combinada de que ocurra un evento El Niño en un año particular y de qué tanto se percibe en el ambiente físico de una región determinada. En las evaluaciones realizadas para FAO (2024) se encontró que de las 27 Áreas Principales de Pesca (MFA por sus siglas en inglés) de la FAO, 11 presentan manifestaciones físicas significativas de El Niño: tres en el Atlántico, dos en el Índico y seis en el Pacífico. Por lo tanto, el riesgo se calculó únicamente para esas 11 MFA.

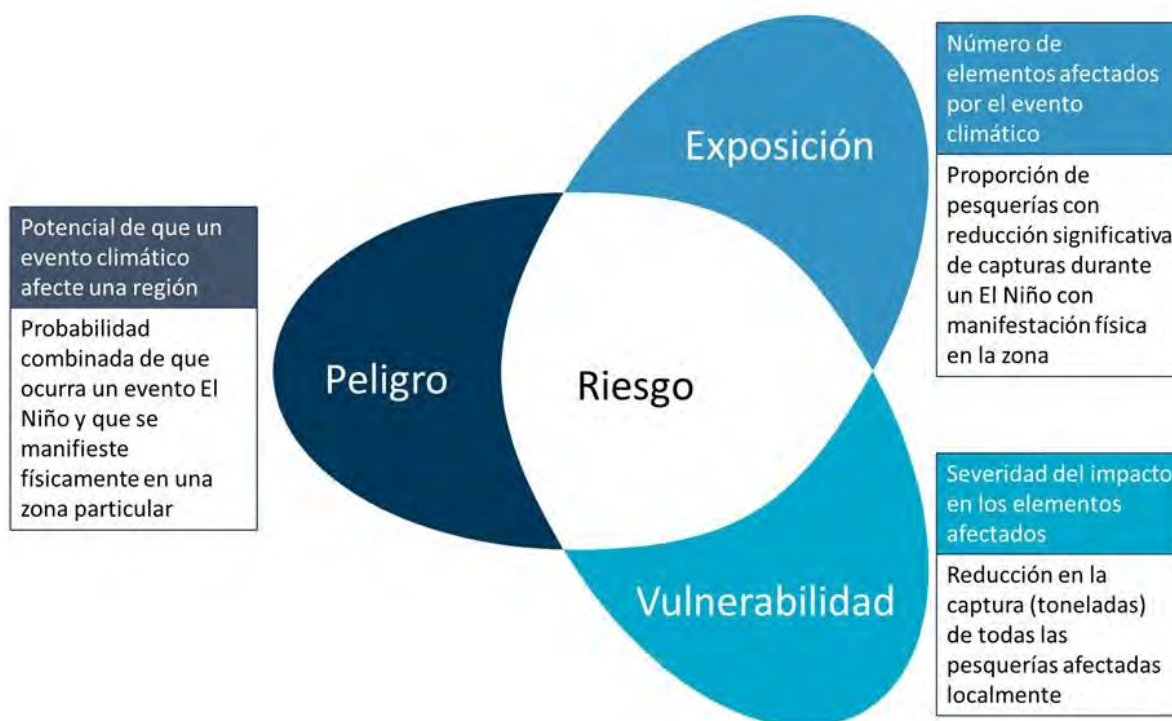


Figura 2. Enfoque de riesgo adaptado, del utilizado por el IPCC (letreros con fondo de color), al caso particular de las pesquerías marinas y El Niño (letreros con fondo blanco).



La exposición se basó en las estadísticas de captura de la FAO y se calculó como la proporción de pesquerías en cada MFA que mostraron reducciones significativas en la productividad durante los eventos de El Niño manifestados localmente. A pesar de las diferencias en el peligro entre regiones, la estimación de la exposición es sorprendentemente similar entre las MFA, con valores que oscilan entre el 7.2 % y 22.1 % (promedio en 14.3 %). Por su parte, la vulnerabilidad se estimó como la reducción de captura agregada (en millones de toneladas métricas) de todas las especies afectadas para cada MFA. La captura anual media (período base 2012 a 2021) de las especies afectadas varía ampliamente, entre 0.009 (Pacífico sudoccidental) y 4.72 millones de toneladas métricas (Pacífico sudoriental), pero la proporción de la reducción de captura para esas especies durante las condiciones de El Niño es casi constante, cercana al 5 %, independientemente de la región y el tipo de pesquerías.

Finalmente, la estimación de riesgo es representada aquí como Figura 3, utilizando gráficos radiales con tres ejes: peligro (expresión física de El Niño en la región), exposición (número de especies con reducción significativa de capturas) y vulnerabilidad (reducción agregada de capturas de las especies afectadas), escaladas al máximo valor posible de 1 para cada eje, donde el producto de los tres índices representa el riesgo compuesto, con un máximo valor posible de 1.

En general, el análisis reveló que las regiones con mayor riesgo son el Pacífico Sudeste, seguido del Océano Índico y el Pacífico Centro-Occidental. El número de pesquerías que experimentan reducciones y la reducción proporcional de las capturas de dichas especies es prácticamente constante entre las regiones, con alrededor del 14 % de las pesquerías disminuyendo cerca del 5 % de su producción de captura durante los eventos de El Niño. Las diferencias en el riesgo se deben a la probabilidad de detectar eventos de El Niño en la región (peligro) y a la contribución relativa a las capturas de las pesquerías posiblemente afectadas. Por otro lado, se observó que las pesquerías que experimentaron reducciones incluyen todo tipo de recursos: bentónicos, demersales y pelágicos, peces e invertebrados, aunque en general los más afectados son los peces pelágicos grandes y pequeños.

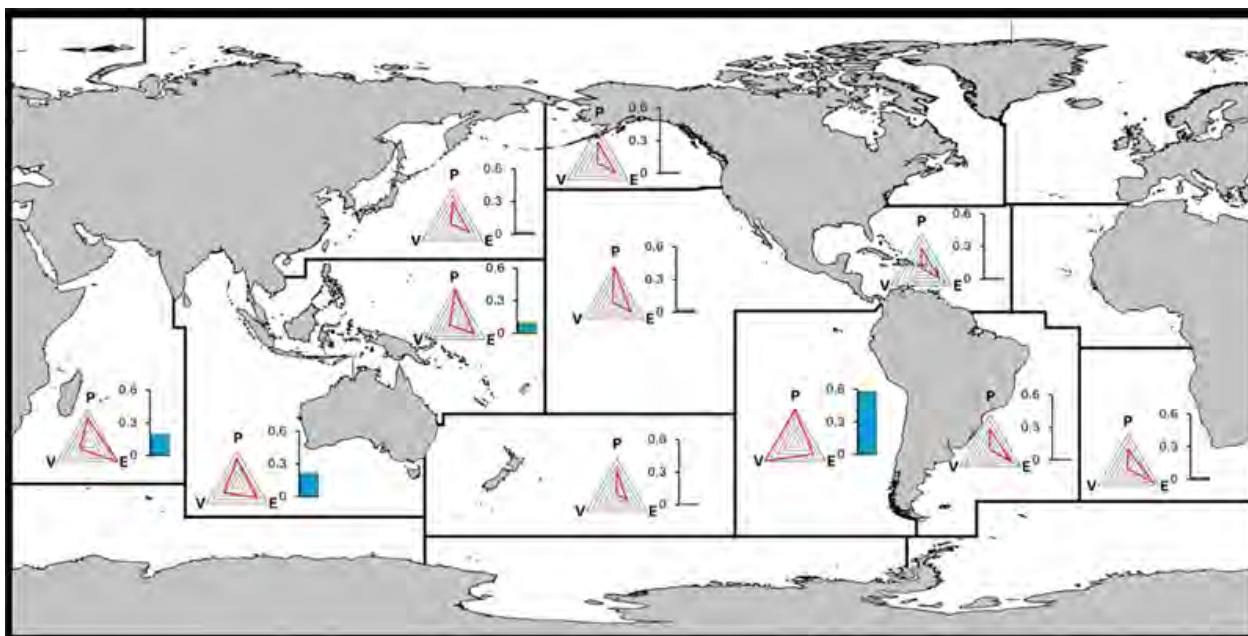


Figura 3. Distribución regional del riesgo de las pesquerías marinas ante El Niño. Los gráficos radiales muestran los valores relativos de peligro, exposición y vulnerabilidad, y la barra el riesgo, producto de los tres componentes, con valor entre 0 (sin riesgo) y 1 (máximo riesgo).

Reducción del riesgo

Afrontar los impactos negativos de los cambios ambientales en los sistemas de producción alimentaria requiere de capacidad adaptativa y ésta depende en gran medida de la comprensión científica y técnica del fenómeno. La pesca marina se basa en la captura de especies silvestres en un entorno no regulado, lo que la distingue de otros sistemas de producción de alimento, como la agricultura, la acuicultura y la ganadería, en el sentido de que las operaciones pesqueras se ven afectadas de forma más impredecible por los cambios ambientales. Por lo tanto, es fundamental comprender el entorno físico y sus cambios, las poblaciones y ecosistemas marinos, el sistema pesquero y las interacciones entre ellos.

En cuanto al entorno físico, ya se ha mencionado que los modelos climáticos, sean estadísticos u orientados a procesos, son aún insuficientes para simular y predecir eficazmente la ocurrencia de eventos El Niño. Respecto a los modelos ecológicos y de evaluación poblacional, resulta pertinente incorporar el componente ambiental para proyectar los potenciales impactos de los cambios del clima. Aunque es muy probable que los modelos mejoren a medida que se disponga de bases de datos más amplias y se incorporen nuevos métodos de análisis numérico, incluyendo sistemas de aprendizaje autónomo e inteligencia artificial, sigue siendo difícil determinar si las simulaciones y los pronósticos con precisión regional se integrarán en el corto plazo al arsenal científico. La



alternativa, mientras tanto, parece ser la sofisticación y el mantenimiento de sistemas oceanográficos de monitoreo y alerta temprana. En cuanto a los componentes biológico y pesquero, una evaluación rápida del número de artículos publicados sobre los vínculos entre El Niño y los recursos pesqueros afectados en cada región FAO reveló una enorme brecha de conocimiento para la mayoría de las pesquerías y regiones (Figura 4), lo que subraya la necesidad urgentemente de esfuerzos más ambiciosos de investigación. Por ejemplo, para la MFA 77, que incluye el Pacífico mexicano, prácticamente no existe información en más del 20 % de los recursos que son afectados y para la mayoría (55 %) existe un nivel moderado de conocimiento.

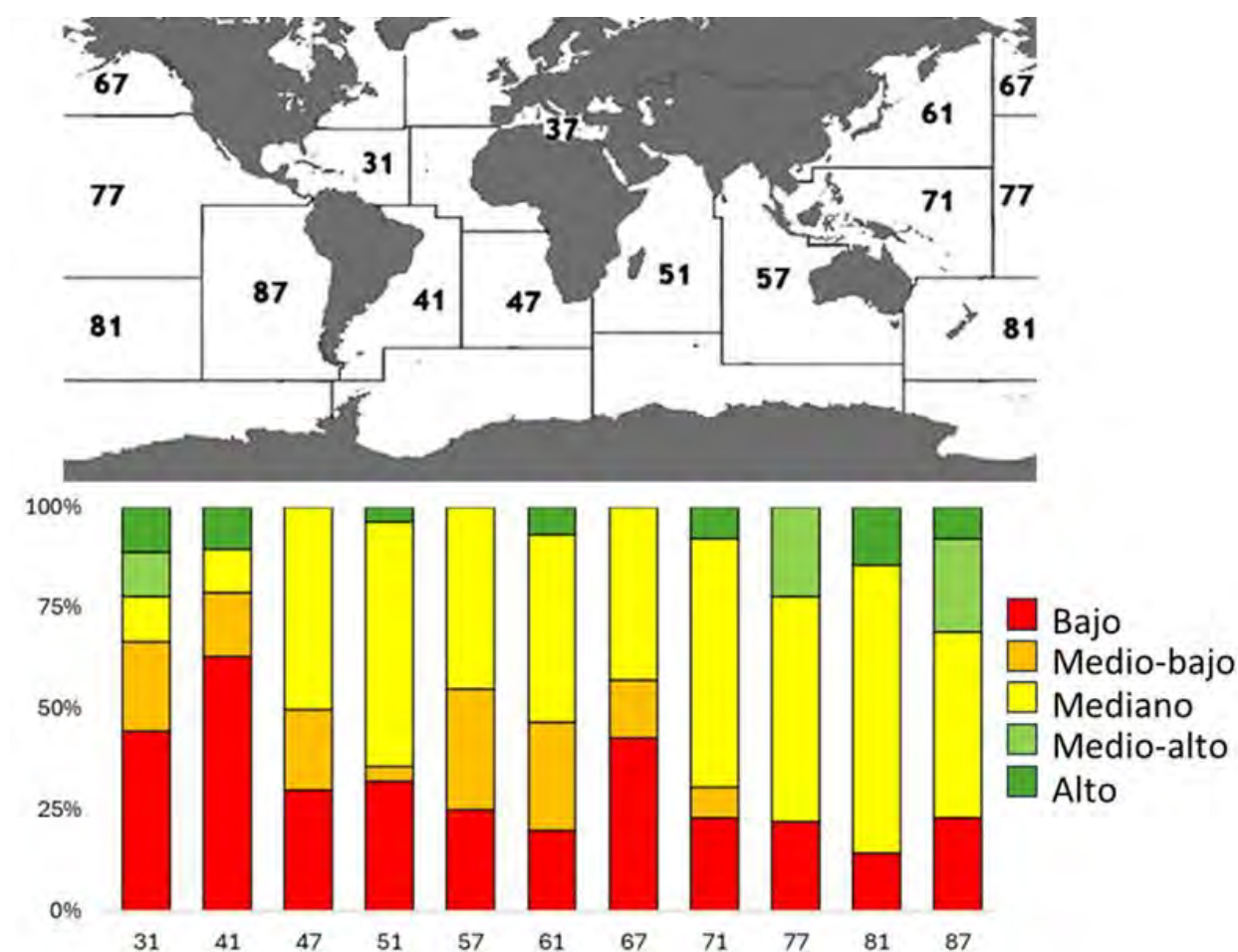


Figura 4. Nivel de conocimiento científico sobre los efectos de El Niño en la pesca. Los niveles de conocimiento fueron asignados subjetivamente, basándose en el número de documentos encontrados en bases de datos públicas utilizando (ENSO “o” El Niño “y” el nombre de especie/pesquería) como estrategia de búsqueda, y expresiones de conocimiento reportadas en esos documentos, que van desde muy baja donde no existen o existen muy pocos documentos, hasta alta cuando había al menos 10 documentos publicados y expresiones de buen nivel de conocimiento dentro de ellos.

Finalmente, el alcance de la mejora tecnológica como alternativa para aumentar la capacidad de respuesta en la pesca marina también difiere del de otros sistemas de producción alimentaria. Mientras que en sectores de producción de alimentos como la agricultura, ganadería o acuicultura existen diversos ejemplos de intervenciones tecnológicas innovadoras, como invernaderos para reducir la exposición la variabilidad del ambiente o la selección de variedades animales o cultivos vegetales, en la pesca la tecnología ha contribuido a mejorar la eficiencia en el consumo de combustible, la productividad y la selectividad de la captura, pero no a reducir la dependencia del entorno ambiental. Si bien sería fascinante ver un nuevo conjunto de mejoras tecnológicas, el enfoque más pragmático hoy en día es seguir aumentando la comprensión científica e invertir en la implementación y evaluación del éxito de las medidas reactivas de adaptación.

En conclusión, al día de hoy la reducción del riesgo para las pesquerías marinas en relación con El Niño depende de nuestra capacidad de mejorar el monitoreo y la alerta temprana, no sólo de los cambios del ambiente sino también de la condición de los recursos en tiempo real, de incrementar la flexibilidad y adaptabilidad inmediata y dinámica de las estrategias de manejo y de reducir la dependencia de la producción de alimentos en pesquerías o poblaciones vulnerables.

Agradecimientos. Apreciamos la invitación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para participar en los estudios de donde derivó la presente revisión. El Lic. Carlos Pacheco aportó apoyo técnico en el manejo de bases de datos.

Literatura citada

- Banzon, V., Reynolds, R., National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). The Climate Data Guide: SST data: NOAA Optimal Interpolation (OI) SST Analysis, version 2 (OISSTv2) 1x1. Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-optimal-interpolation-oi-sst-analysis-version-2-oisstv2-1x1> on 2024-01-30.
- Bertrand, A., Lengaigne, M., Takahashi, K., Avadí, A., Poulain, F., Harrod, C. 2020. El Niño Southern Oscillation (ENSO) effects on fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 660*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8348en>



- Cai, W., Santoso, A., Collins, M., Dewitte, B., Karamperidou, C., Kug, J. S., et al. 2021. Changing El Niño–Southern oscillation in a warming climate. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 628-644.
- Capotondi, A., Wittenberg, A.T., Kug J.-S., Takahashi K., McPhaden, M.J. 2020. ENSO diversity. In M. McPhaden, A. Santoso & W. Cai., eds. *AGU Monograph: ENSO in a changing climate*. Wiley, New York, p. 65-86.
- FAO. 2024. El Niño impacts and policies for the fisheries sector. FAO Innovation for Blue Transformation. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd3812en>
- FAO. 2024b. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0683es>
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.
- Liu, Y., Cai, W., Lin, X., Li, Z., Zhang, Y. 2023. Nonlinear El Niño impacts on the global economy under climate change. *Nat Commun* 14, 5887. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41551-9>
- Qian, Y., Zhao, J., Zheng, S., Cao, U., Xue, L. 2020. Risk assessment of the global crop loss in ENSO events. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 116: 102845. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102845>.
- Lluch-Cota, D., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S., López-Martínez, J., Nevárez-Martínez, M., Ponce-Díaz, G., Salinas-Zavala, G., Vega-Velázquez, A., Lara Lara, J. R., Hammann, G. & Morales, J. 1999. Las pesquerías y El Niño. Magaña, V.O. [Ed]. Los impactos de El Niño en México. Los Impactos de El Niño En México, DGPC-SG-UNAM-IAI-SEP-CONACYT, México.
- Wolter, K., Timlin, M.S. 2011. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Intl. J. Climatology*, 31: 1074-1087.

Cita

Lluch-Cota, S.E. y D.B, Lluch-Cota. El riesgo del fenómeno de El Niño para las pesquerías marinas a escala mundial. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 39-51.

<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0003>

Sometido: 26 de mayo de 2025

Aceptado: 23 de junio de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

The Gulf corvina fishery of the Upper Gulf of California

La pesquería de curvina golfina del alto golfo de California

Eugenio Alberto Aragón-Noriega^{1*}

Resumen

La curvina golfina (cuyo nombre científico es *Cynoscion othonopterus*) es un pez endémico del golfo de California, que pertenece a la familia *Sciaenidae* comúnmente llamados curvinas o roncadores. Este organismo es un pez migratorio, ya que anualmente durante los meses de febrero a mayo se dirige hacia la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado con fines reproductivos y se considera como una especie de alto valor pesquero por el volumen que representa y debido a que se pesca durante la cuaresma, que es la época del año en que las personas mexicanas consumen una mayor cantidad de pescados, sustituyendo a las carnes rojas que de acuerdo a la costumbre católica no deben ser consumidas en ese periodo de cuaresma.

Palabras clave: Áreas naturales protegidas, *Cynoscion othonopterus*, Reserva de la Biósfera, *Sciaenidae*

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas. Km 2.35 Camino al Tular, Estero Bacoichibampo, Guaymas, Sonora 85454, México

*Autor de correspondencia: aaaron04@cibnor.mx



Abstract

The Gulf corvina (whose scientific name is *Cynoscion othonopterus*) is a fish species endemic to the Upper Gulf of California region, belonging to the *Sciaenidae* family, commonly known as croakers. This is a migratory fish, that annually during the months of February to May immigrates into the Upper Gulf of California and Colorado River Delta Biosphere Reserve for reproductive purposes. It is considered a species of high fishing value due to its volume and because it is caught during lent, which is the time of year when Mexicans consume a greater quantity of fish, replacing red meats that, according to Catholic custom, should not be consumed during that period.

Keywords: Biosphere Reserve, *Cynoscion othonopterus*, natural protected areas, *Sciaenidae*

Antecedentes

La curvina golfina, *Cynoscion othonopterus*, es un pez que pertenece a la familia *Sciaenidae* comúnmente llamados curvinas o roncadore. Los scianidos generalmente son demersales, carnívoros que se alimentan de una variedad de peces pequeños y de invertebrados bentónicos. Es un pez diádromo (peces que migran entre agua dulce y agua salada para completar su ciclo de vida) con preferencias a fondos marinos arenosos y suaves del alto golfo de California. Su reproducción se lleva a cabo en los canales del delta del río Colorado donde se encuentran las aguas salobres. La especie es iterópara (se reproduce varias veces anual y estacionalmente), gonocórica (tiene sexos separados) y ovípara (el desarrollo de larvario se lleva a cabo fuera del cuerpo del animal). La especie fue descrita por Jordan y Gilbert en 1882. Ellos eran unos científicos norteamericanos que se adentraron en el golfo de California (también conocido como mar de Cortés) en el buque a vapor Albatross con el fin de recolectar peces que para ellos eran desconocidos. Entre ellos encontraron por primera vez a la curvina golfina. Las características distintivas de la especie son: cuerpo alargado, relativamente esbelto, perfil de nuca recto, boca grande y oblicua, la

mandíbula inferior prominente, mentón sin poros ni barbilla, dientes aguzados, dispuestos en una o dos series, un par de dientes tipo caninos en el extremo de la mandíbula superior. La vejiga gaseosa tiene un par de apéndices anteriores en forma de cuernos. Presenta coloración con dorso azul metálico, vientre plateado, mitad superior del cuerpo con estrías oscuras, axilas pectorales grisáceas, parte distal de las aletas oscuras, aletas pélvicas y anal amarillas (Chao, 1995).

La explotación de los recursos pesqueros en el alto golfo de California (AGC) (Puerto Peñasco, San Felipe y Golfo de Santa Clara) se convirtió, desde principios del siglo XX, en el motor de crecimiento económico y demográfico de la región (Godínez-Plascencia, 1993, pp. 13-14). En un principio fue la totoaba (nombre científico *Totoaba macdonaldi*), misma que dejó de ser la base económica en la década de los 1940. Mientras que la captura de totoaba dejaba de ser la base económica regional, la captura de camarón pasaba a ser la principal fuente de ingresos de la actividad pesquera, y hasta la fecha, un pilar importante de la economía de la región (Blanco-Orozco, 2002, pp. 318-338). En la actualidad la curvina golfina ocupa el segundo sitio en ingresos económicos, pero el primero por volumen en el caso de los peces y crustáceos. La pesca con redes de enmalle, cimbras y/o palangres fue restringida, desde 2015, en las comunidades del AGC bajo el argumento de proteger especies declaradas como de alto riesgo de extinción (Figura 1). El hábitat estuarino del AGC está resistiendo un trágico impacto ecológico causado por el represamiento del río Colorado. El AGC es el hábitat natural para muchas especies de importancia ecológica (pez cachorrito del desierto) y económica como lo es la curvina golfina, así como especies que fueron importantes en la pesca, previo al represamiento del río, tales como la almeja *Mulinia* (o enana) y la totoaba.

La información aquí presentada proviene de los resultados de un proyecto realizado desde 2008 hasta 2016 por el autor y financiado por el CONACYT (organismo que apoyó la investigación científica en México antes de transformarse en SECIHTI). El proyecto se intituló “Bases socioeconómicas y biológicas para la explotación sustentable de los recursos pesqueros del Alto Golfo de California”. El objetivo fue presentar ante la autoridad

federal una evaluación del beneficio de la pesca en las comunidades y mostrar una propuesta de compensación financiera a los pescadores ante el cierre de la pesca.

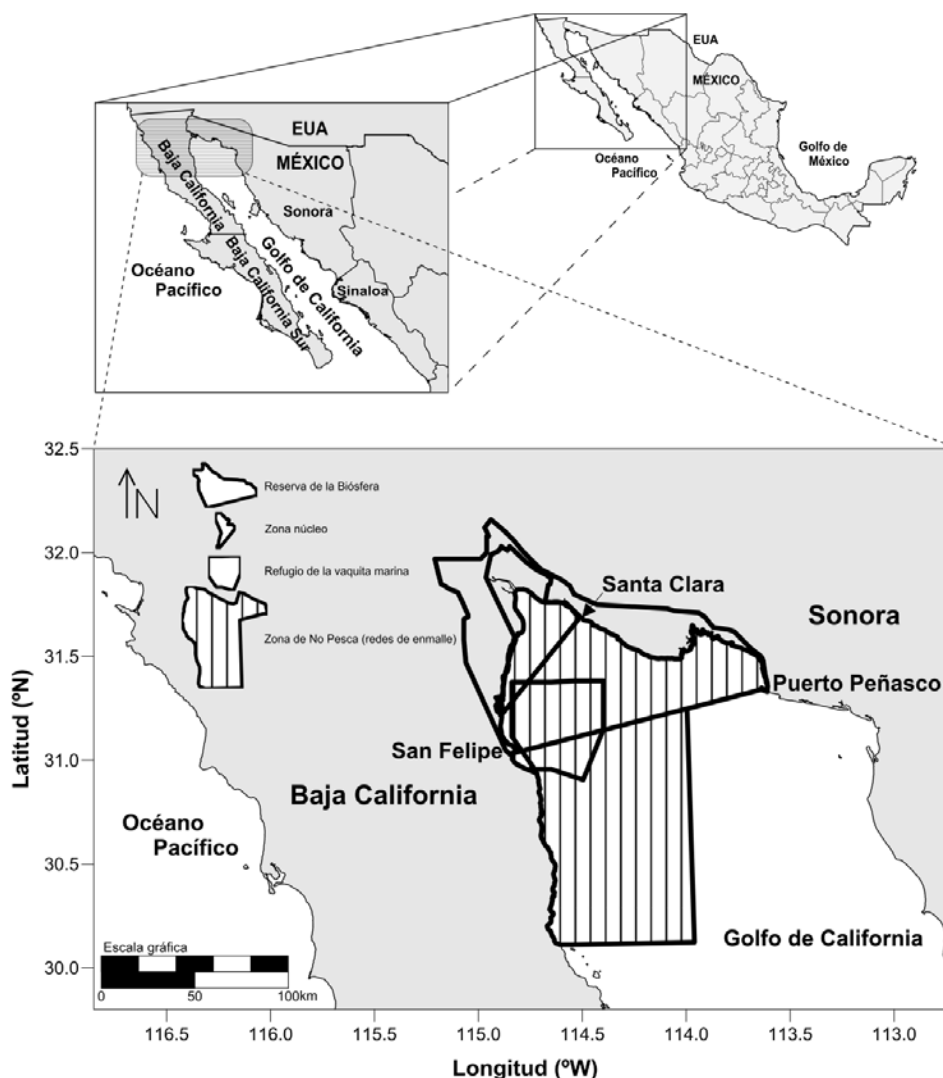


Figura 1. Reserva de la biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Se presentan las áreas restringidas a la pesca. Fuente: Elaboración propia con información publicada en el Diario Oficial de la Federación.

La importancia de la pesca

La pesquería de la curvina se efectúa principalmente en las aguas someras de la parte norte del AGC y canales de la desembocadura del Delta del Río Colorado, área localizada al noroeste de la costa de Sonora y noreste de la costa de Baja California, que fue decretada como Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (RBAGCyDRC). En la pesca de este organismo participan alrededor de 1600 a 2500 pescadores los cuales utilizan embarcaciones menores (pangas) de aproximadamente 8 metros de eslora equipadas con motores fuera de borda entre 90 a 200 HP. La duración de los viajes depende mucho de la abundancia capturada, variando entre 2-12

h de trabajo con capturas de 2 a 4 toneladas por viaje con un valor de entre 16 a 20 mil pesos mexicanos por tonelada. Por esa razón el beneficio económico durante este corto periodo es muy significativo. La flota tiene su base en tres comunidades principales: 400 embarcaciones se ubican en el Golfo de Santa Clara, Sonora; 300 embarcaciones en San Felipe, Baja California y 100 embarcaciones en El Zanjón, Baja California.

Historia de la pesca

Una de las primeras observaciones sobre la especie y su pesquería fue presentada por Fitch en 1949, quien señaló que la curvina golfina se pescaba incidentalmente junto con la pesca de totoaba y también se consideraba un recurso con valor significativo para la pesca deportiva ya que ambos organismos se exportaban en presentación de filete al estado de California, Estados Unidos. Paulatinamente, por factores desconocidos, esta especie dejó de inmigrar al Alto Golfo en la década de los sesenta del siglo pasado llegándose a considerar extinta. No obstante, la especie se volvió a capturar a partir de 1992 (Figura 2), convirtiéndose en el segundo recurso pesquero de mayor importancia social y económica por el valor de la producción en la región ya que el primer lugar lo ocupa el camarón. En 1992 se obtuvo una captura de 3.9 toneladas (t), para 1994 se capturaron 219.5 t y la producción continuó aumentando de tal manera que para el periodo de 1998 a 2001, la producción osciló entre las 2,889 y 3,748 t. La máxima producción histórica reportada fue en el 2002, con 5,952 t, a partir de ahí, empezó a disminuir hasta las 2,200 t en el año 2005, y en los años subsecuentes volvió a aumentar la producción. Las capturas de curvina golfina se realizan entre febrero y mayo, pero los meses de mayor captura son marzo y abril (Figura 2). La pesca de curvina se realiza en los primeros días de las mareas vivas, después del primer y tercer cuarto lunar, en ciclos o periodos de dos a tres días. Los desoves están sincronizados con estos ciclos, y aparecen durante las mareas vivas entre febrero y abril.

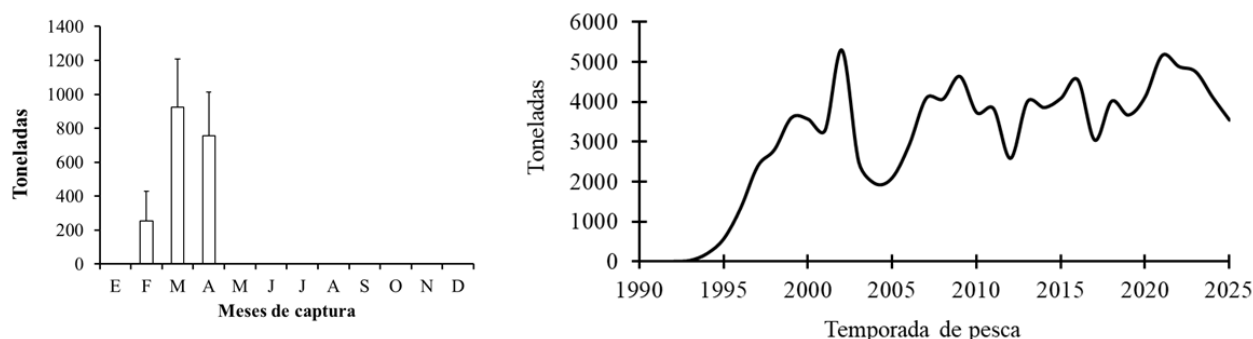


Figura 2. Captura estacional e histórica de curvina golfina, *Cynoscion othonopterus*, en el alto golfo de California del periodo de 1991 a 2025. Fuente: Elaboración propia con información recolectada en los registros de CONAPESCA.

Comercialización de la captura

La curvina golfina es una especie de un alto valor pesquero por el volumen que representa y debido a que se pesca durante el periodo de mayor demanda en México, cuaresma, temporada en la cual aumenta considerablemente el consumo de pescados y mariscos en todo el país. Se comercializa principalmente como producto fresco eviscerado (destripado) y la mayor parte de la producción se envía a la Ciudad de México y Guadalajara, y en menor cantidad en los Estados de Sinaloa y Sonora. El precio por kilogramo (kg) de curvina eviscerada varía anualmente entre localidades, en promedio el kg curvina a inicio de temporada es de \$14 pesos, sin embargo, el precio se desploma (\$8 kg) en cuestión de días u horas debido a que las capturas en el corto plazo saturan el mercado. Por ello, desde el año de 1997 se ha tratado de acordar con los productores medidas que aseguren un aprovechamiento ordenado del recurso, lo que ha sido difícil ya que todos los usuarios tratan de capturar el mayor volumen en el menor tiempo posible. Por otro lado, a partir de 2011, la pesca de curvina presentó una demanda de los subproductos por separado. El pez entero (sin vísceras), la vejiga natatoria (llamada buche) y la gónada (Figura 3). Es importante notar que el precio por kg de “buche” se ha elevado tanto en los últimos años y en 2018 llegó a venderse a 600 pesos/kg, lo que representó el 50% del valor total del recurso curvina con 24.8 millones de pesos comparativamente con 2011 cuando era apenas el 16% con 7.6 millones de pesos.

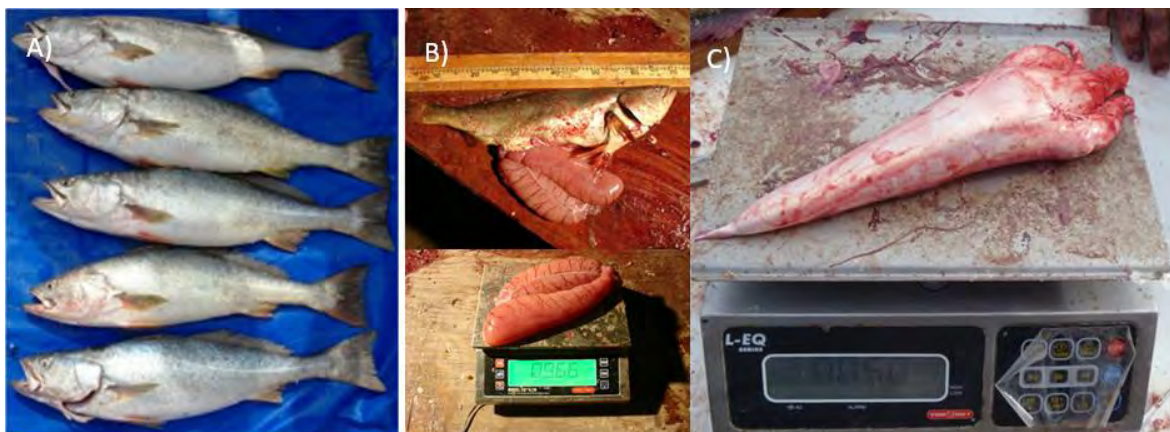


Figura 3. Partes de curvina demandados por el mercado. A) pez entero, B) gónada (también llamada huevo de pescado), y C) “buche”. Fuente: Elaboración propia con fotografías tomadas en campo.

El ambiente

El hábitat estuarino del alto golfo de California está resistiendo un trágico impacto ecológico causado por el represamiento del río Colorado. El alto golfo de California es el hábitat natural para muchas especies de importancia ecológica (pez cachorrito del desierto) y económica como lo es la curvina golfina, así como especies que fueron importantes en la pesca, previo al represamiento del río, tales como la almeja mulinia y la totoaba. En el año 1935, los Estados Unidos de Norteamérica construyeron la Presa Hoover, ubicada entre Arizona y Nevada, que causa que casi ninguna cantidad del agua del río Colorado llegue al alto golfo de California en México. Cuando un río de agua dulce desemboca en un cuerpo marino se produce un tipo de hábitat costero muy especial denominado estuario, cuya salinidad es intermedia entre la salinidad del agua dulce y la salinidad del mar, lo que evolutivamente promueve la adaptación de especies especializadas a este hábitat.

La salinidad de un hábitat estuarino sano se encuentra en los rangos de entre 20 y 25 unidades (gramos de sal por litro de agua) lo cual era lo prevaleciente en el alto golfo de California antes del represamiento del río Colorado. Actualmente la salinidad en el alto golfo de California oscila entre 38 y 42 unidades, salinidades que no son características de ambientes de estuarios sanos, sino de ambientes marinos. La condición del estuario del alto golfo de California cambió radicalmente debido a la reducción severa de la descarga de agua dulce.

Normatividad

La pesquería de la curvina golfina es una de las más reguladas en México. Su aprovechamiento está basado en un esquema de cuotas de captura (DOF, 2025). Tiene una norma oficial NOM-063-PESC-2005 (DOF, 2007), también un plan de manejo pesquero



(DOF, 2012), y tiene una ficha particular en la carta nacional pesquera desde el 2012 ya que anterior a esta fecha estaba incluida en escama en general. Cuenta con un comité consultivo en donde participan autoridades, pescadores, comunidad, investigadores y organismos de la sociedad civil; para el manejo del recurso. En el grupo de investigadores se ha conformado un grupo técnico que aporta el conocimiento científico. El autor de este documento, personal del CIBNOR, forma parte de este grupo técnico de curvina. La norma establece que la captura debe hacerse con redes de enmalle con luz de malla de 14.6 cm y 293 m de longitud, tendida en forma de encierro, que la talla mínima de captura es de 65 cm y que debe haber una cuota máxima de captura que debe ser recomendada anualmente por el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables IMIPAS.

Discusión Académica

Las estrategias de conservación espacial y temporal en un plan de manejo son herramientas importantes para ayudar a mantener saludable al recurso pesquero: En ese sentido, las estrategias para mantener saludable a la pesquería de curvina golfina como periodo de veda y cuota de captura a la fecha han sido importantes, aunque insuficientes. Por lo tanto, debido a la presión por pesca y los nuevos retos que actualmente enfrentan los pescadores y las autoridades gubernamentales, es necesario incorporar en la norma oficial mexicana NOM-063-PESC-2005 y plan de manejo pesquero nuevas estrategias que ayuden a complementar las medidas de conservación y sustentabilidad actualmente vigentes. Por lo anterior se debería de considerar estrategias de manejo basadas en:

- a) Establecer una longitud máxima de captura para lograr que el 100% de las capturas estén conformadas por organismos que estén dentro del intervalo de la longitud óptima con el objetivo de evitar capturar mega-reproductores. De no establecerse este criterio con el tiempo se reduciría la capacidad de recuperación del stock.
- b) Reconsiderar la longitud mínima legal de captura para curvina golfina con el objetivo de disminuir la luz de malla y que las capturas estén más dirigidas a la longitud óptima. Lo que se busca con esta medida es que se evite capturar organismos grandes con mayor capacidad reproductiva.

Actualmente la pesquería de curvina golfina muestra indicios de una pesquería no sustentable, sin embargo, existen mecanismos y alternativas para darle seguimiento y establecer prontas acciones que ayuden a una mejor administración del recurso. En caso contrario y de seguir esta tendencia el único recurso con permiso de explotación para las localidades del Alto Golfo de California y San Felipe puede llegar a colapsar en un futuro no lejano.

Consideraciones finales

Actualmente, el recurso curvina golfina representa la pesquería más importante en el alto golfo de California. Adicionalmente a esto, fue la única especie con permiso de explotación pesquera dentro de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, cuando el Gobierno de México decretó la prohibición de la pesca con redes de enmalle en esa región; con el propósito de protección de otras especies. El patrón de mareas que se presenta en el alto golfo de California cambia interanualmente en la amplitud y frecuencia de marea del mismo mes, lo cual es considerado para la decisión oficial del inicio de las fechas de captura de curvina golfina. La pesquería de curvina empieza en los primeros días de las mareas vivas después del primer y tercer cuarto lunar en periodos de dos a tres días. Se debe considerar que la presencia de este pez no se rige mediante el calendario común, sino con el calendario lunar. Los resultados de las investigaciones realizadas por el CIBNOR Unidad Guaymas indican que las fechas de captura de curvina golfina van a estar cambiando interanualmente. La abundancia de la curvina golfina fluctúa año con año, así como también fluctúa el inicio de su periodo de migración a la zona de pesca en el alto golfo de California. También sabemos que la Semana Santa no tiene una fecha fija y la presencia de curvina golfina en cantidades importantes para la pesca tampoco tiene una fecha fija, pero lo que sí es un hecho es que ambas se acoplan y la mayor abundancia de curvina golfina coincide con las fechas de la cuaresma. La fecha de Semana Santa está asociada a la luna llena y las mareas también se asocian a los periodos lunares. Tenemos también que las mareas más altas son aprovechadas por la curvina golfina en la corrida hacia el delta del río Colorado. Hay entonces una dependencia de las fechas de Semana Santa al calendario lunar y una dependencia de las mareas también al calendario lunar, la curvina coincide con las mareas y podemos decir entonces que también la presencia de curvina depende del calendario lunar. Como consideración final se asume que la curvina golfina emigra del golfo de California cuando pasa la etapa de crianza y cuando regresa



(inmigra) en grandes cantidades, para reproducirse, lo que coincide con la cuaresma, que es la época de mayor demanda comercial de pescados y mariscos en México. Por esta razón, se puede decir que, en la religión católica, la curvina golfina se puede considerar como un pez sagrado que ha sido enviado a los habitantes de México como alimento, en los días del año de mayor demanda y consumo de pescado.

Agradecimientos

El proyecto fue financiado por el CONACYT (hoy en día SECIHTI) mediante proyecto de ciencia básica (CB-2012-01-Proyecto 178727) “Bases socioeconómicas y biológicas para la explotación sustentable de los recursos pesqueros del Alto Golfo de California”

Literatura citada

- Blanco Orozco, M.L. 2002. *Pobreza y explotación de los recursos pesqueros en el Alto Golfo de California*. pp. 318-338. En: Morán Angulo, R.E.; M.T. Bravo; S. Santos Guzmán y J.R. Ramírez Zavala (Eds.). Manejo de Recursos Pesqueros. Editorial Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, México. 460 pp.
- Godínez Placencia, J.A. 1993. *Debe vedarse la pesca en el Alto Golfo*. Ciclos 9(2): 13-14.
- Chao, N.L. 1995. *Sciaenidae*. En: Fischer, W; F. Krupp; W. Schneider; C. Sammer; K.E Carpenter; V.H. Niem (Eds.). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico centro-oriental. Volumen III. Vertebrados. Parte 2. FAO, Roma. 1456 p.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. 2025. *Acuerdo por el que se establece el volumen de captura permisible para el aprovechamiento de curvina golfina (Cynoscion othonopterus), en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado para la temporada de pesca 2025*. Secretaría de Gobernación, México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5750400&fecha=27/02/2025#gs.c.tab=0 (consultado, 19/05/2025).

DOF, Diario Oficial de la Federación. 2012. *Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Curvina Golfina (Cynoscion othonopterus) del norte del Golfo de California*. Secretaría de Gobernación, México.

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5276662

(consultado, 19/05/2025).

DOF, Diario Oficial de la Federación. 2007. *Norma Oficial Mexicana NOM-063-PESC-2005, Pesca responsable de curvina golfina (Cynoscion othonopterus) en aguas de jurisdicción federal del alto golfo de California y delta del río Colorado. Especificaciones para su aprovechamiento*. Secretaría de Gobernación, México.

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4996554&fecha=16/08/2007#gsc.tab

[=0](#) (consultado, 19/05/2025).

Cita

Aragón-Noriega, E.A. La pesquería de curvina golfina del alto golfo de California. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 53-63. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0004>

Sometido: 26 de mayo de 2025

Aceptado: 16 de junio de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Food loss and waste in fishery value chains: Waste valorization

Pérdida y desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de la pesca: Valorización de residuos

Felipe Ascencio¹ y Norma Y. Hernández-Saavedra²

Resumen

Para disminuir los desechos en las cadenas de suministro de las pesquerías es necesario usar un enfoque múltiple que incluya: estrategias de alimentación mejoradas, una gestión completa de la cadena de suministro, el aprovechamiento de los subproductos de la pesca, mejorar las técnicas de medición, acciones innovadoras políticas y técnicas para dar valor a los desechos. Para mitigar este desafío global es esencial una mayor colaboración entre las partes interesadas y el desarrollo de guías integrales. La valorización de los subproductos de las pesquerías representa una oportunidad para abordar los desafíos de la gestión de desechos y, al mismo tiempo, contribuir al crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. Los avances tecnológicos y las evaluaciones de sostenibilidad mejorarán la eficacia de estos procesos.

Palabras clave: pesca, cadenas de valor, pérdida y desperdicio de alimentos, PDA.

¹ Programa de Acuicultura

² Programa de Ecología Pesquera

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: nhernan04@cibnor.mx



1. Introducción

La producción total de la pesca y la acuicultura alcanzó un récord histórico de 223.2 millones de toneladas (equivalente en peso vivo) en 2022, es decir, 185.4 millones de toneladas de animales acuáticos y 37.8 millones de toneladas (peso húmedo) de algas, lo cual supone un incremento del 4.4% en comparación con 2020 (figura 1). El 62% de los animales acuáticos se capturó o recolectó en zonas marinas (el 69% procedente de la pesca de captura y el 31 % de la acuicultura) mientras que el 38% fue obtenido de aguas continentales (84% procedente de la acuicultura y el 16% de la pesca de captura) (FAO 2024).

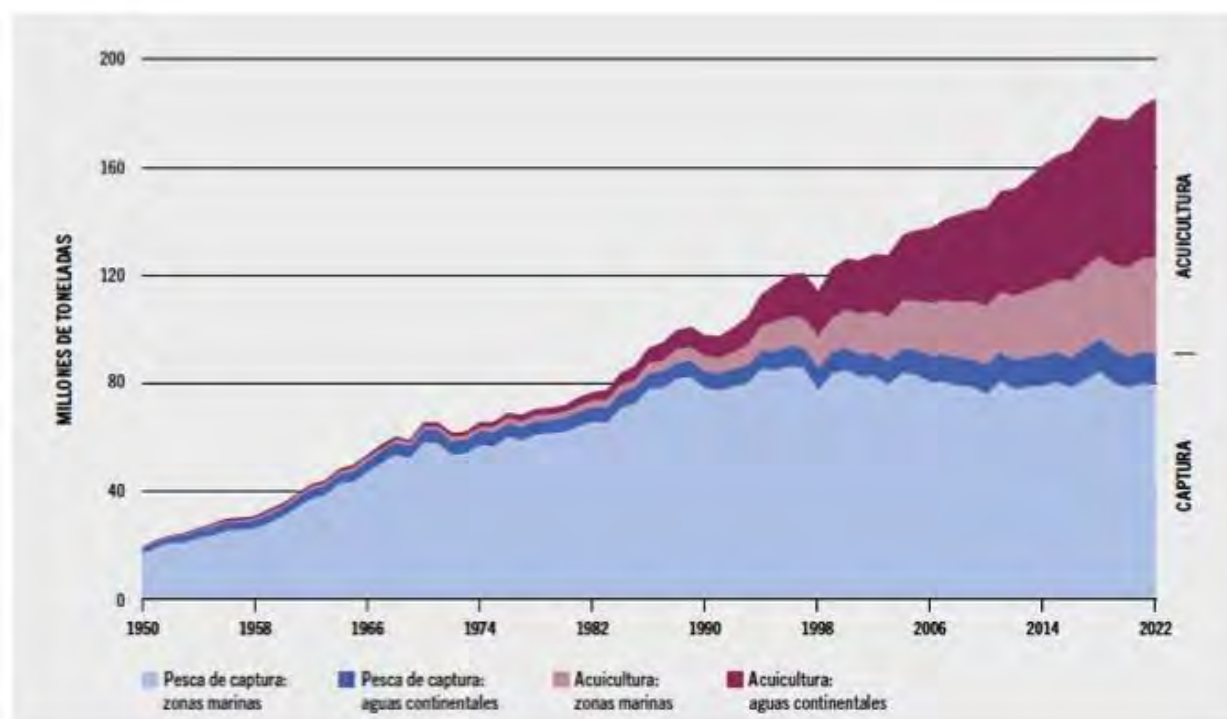


Figura 1. Producción pesquera y acuícola mundial de animales acuáticos (Fuente: FAO, 2024). Nota: Animales acuáticos excluidos los mamíferos acuáticos, cocodrilos, aligátors, caimanes, productos acuáticos (corales, perlas, conchas y esponjas) y algas. Los datos se expresan en equivalente en peso vivo.

En México, el consumo real de pescado ha mostrado un crecimiento constante en los últimos años, ello respaldado por cambios en los hábitos alimenticios hacia una dieta más saludable debido al aumento de enfermedades como obesidad y diabetes. Entre 2018 y 2024, el mercado de pescados y mariscos aumentó su valor alcanzando en 2024 unos 10.01 mil millones de USD y para el período 2025-2034 se espera una tasa de crecimiento anual del 5%. El crecimiento se debe también a factores como: 1) Apoyo gubernamental a los pescadores y al sector pesquero mediante medidas

políticas y ayudas económicas, 2) Mayor demanda de alimentos procesados y enlatados de mariscos, que prolongan la conservación y son accesibles durante todo el año, y 3) Expansión de la industria alimentaria y restaurantera que ofrece mariscos exóticos, lo que impulsa el consumo.

A nivel regional, Baja California lidera en ventas de pescado congelado con el 73.8%, seguido de Yucatán con el 16.2%. También es destacable la creciente preferencia por alimentos congelados por su conveniencia y duración. CONAPESCA y COMEPESCA han confirmado el consumo de 12-13 kg de pescado per cápita y además explican las tendencias y características del mercado nacional, estableciendo que el cambio de tendencia hacia un consumo de pescado más alto en México es real, que se mantendrá en el mediano plazo con el apoyo de políticas públicas y cambios en la demanda del consumidor (EMR, 2025). Aunque aún estamos lejos del óptimo, ha habido avances en materia de innovaciones de cadenas de valor y comercio sostenibles para reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos en los sistemas alimentarios acuáticos, sin embargo, la problemática persiste y sigue siendo motivo de preocupación. La pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de la pesca es un problema mundial que afecta a los aspectos económicos, ambientales y nutricionales de la sociedad. Este problema prevalece en varias etapas de la cadena de suministro de pescado, desde la captura hasta el consumo, y plantea desafíos para su gestión sostenible.

En cuanto al alcance e impacto de la pérdida y el desperdicio de pescado este es de alrededor del 35%, lo que genera pérdidas económicas importantes para pescadores, procesadores y comerciantes, además de restar a la seguridad alimentaria y nutricional (Peñarubia et al., 2020). Las pérdidas se producen en múltiples etapas, incluidas las operaciones de captura, la manipulación posterior a la cosecha, el procesamiento, el almacenamiento, la distribución y el consumo; el problema se ve agrava por las cadenas de suministro fragmentadas, la manipulación y el manejo inadecuado de la cadena de frío, en particular, en las economías en desarrollo (Sultan et al., 2022).

Es importante mencionar que existe una gran variación en las estimaciones de la pérdida de pescado debido a los diversos enfoques de medición. La mayoría de los estudios se centran en la pérdida física y nutricional, con menos atención a la pérdida de calidad o de fuerza de mercado (Kruijssen et al., 2020). Un reto importante es generar información oportuna y de alta calidad para orientar el desarrollo de políticas y la gestión de recursos (Peñarubia et al., 2020). Además, prevalece la



necesidad de métodos estandarizados para cuantificar con precisión las diferentes formas de pérdida (Kruijssen et al., 2020).

Los esfuerzos para reducir la pérdida y el desperdicio de pescado incluyen el desarrollo de repositorios de información para brindar soluciones para escenarios de pérdida comunes, además de servir como orientación para la formulación de políticas (Peñarubia et al., 2020). La FAO ha participado activamente en la creación de directrices y el apoyo a iniciativas para abordar esta cuestión desde múltiples ángulos, incluidos la tecnología, el mercado, las políticas y la equidad social (Racioppo et al., 2021). La valorización de los desechos de pescado para convertirlos en productos con valor añadido, como compuestos bioactivos y nutrientes, está tomando fuerza como una estrategia altamente sostenible (Naseem et al., 2023).

2. ¿Cuáles son las principales causas de la pérdida de alimentos en la pesca?

Las causas de la pérdida de alimentos en la pesca son multifacéticas e involucran factores ambientales y operativos (tabla 1). Estas grandes pérdidas ocurren en varias etapas de la cadena de suministro de pescado, desde la captura hasta el consumo:

- *Factores ambientales:* el cambio climático (CC) afecta significativamente la productividad pesquera, ya que el calentamiento de los océanos (CO) resulta en una reducción de los rendimientos en muchas regiones. Esto afecta la disponibilidad y sostenibilidad de las poblaciones de peces, lo que contribuye a la pérdida de alimentos (Free et al., 2019; Plagányi, 2019).
- *Ineficiencia operativa:* las malas prácticas de manipulación y envasado, especialmente en las etapas posteriores a la captura, son los principales factores que contribuyen a la pérdida de pescado. La ineficiencia tanto en los puntos de recolección como en la infraestructura (inadecuada), las instalaciones de transporte y de almacenamiento, exacerban las pérdidas (Acharjee et al., 2021; Assefa et al., 2018; Ps et al., 2022).
- *Prácticas pesqueras:* el uso de ciertas artes de pesca, como las redes de enmalle y las redes de trasmallo, se asocia a una pérdida significativa de recursos durante las operaciones pesqueras. Estos métodos generalmente producen captura incidental y descartes, lo que contribuye a la pérdida de alimentos (Luke et al., 2017).

- *Factores económicos y de mercado:* estos se producen debido al deterioro de la calidad y las fuerzas del mercado, donde el pescado se descarta o se vende a precio más bajo debido a la pérdida de valor nutricional o daño físico (Ps et al., 2022).
- *Falta de información y gestión:* los datos inadecuados y las prácticas de gestión deficientes obstaculizan el desarrollo de políticas efectivas y de la gestión de los recursos, lo que conduce a un aumento de la pérdida de alimentos en toda la cadena de valor del pescado (Peñarubia et al., 2020).

Tabla 1. Causas de pérdida de peces a nivel de piscicultores (Acharjee et al. 2021).

Orden de importancia	Factores que provocan pérdidas de pescado
I	Oferta y demanda imprevistas
II	Ineficiencias en los puntos de recolección
III	Falta de conocimientos sobre prácticas de manipulación de pescado
IV	Tipos de herramientas utilizadas para transportar pescado
V	Medios de transporte utilizados
VI	Falta de actores inmediatos/largo tiempo de espera
VII	Falta de comunicación efectiva
VIII	Altas temperaturas/condiciones climáticas
IX	Falta de instalaciones de almacenamiento
X	Descomposición

3. Impacto ambiental del manejo de residuos de granjas acuícolas

El impacto ambiental de la gestión de residuos de piscifactorías representa una preocupación importante debido a su potencial de contaminación y de alteración de los ecosistemas. En la figura 2 se muestra un esquema simplificado del flujo de alimentos a través de la cadena de suministro, en donde se observa la gran proporción de desperdicios que se generan. Para mitigar el impacto de estos impactos es crucial el desarrollo de estrategias eficaces de gestión de residuos; los principales impactos ambientales pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- a) *Eutrofización y alteración del ecosistema:* la descarga de residuos de las granjas acuícolas puede provocar eutrofización, que es la riqueza excesiva de nutrientes en los cuerpos de agua, lo que provoca un crecimiento denso de las plantas y la muerte de la vida animal debido a la falta de oxígeno (Amirkolaie, 2011).



- b) *Deterioro bentónico*: la sedimentación de partículas de residuos puede provocar la acumulación de materia orgánica y anoxia de sedimentos, lo que afecta negativamente a los hábitats bentónicos, como las praderas marinas (Holmer et al., 2008).
- c) *Contaminación por nutrientes*: las piscifactorías liberan cantidades significativas de nitrógeno y fósforo, lo que contribuye a la contaminación del agua (Aissaoui et al., 2022).

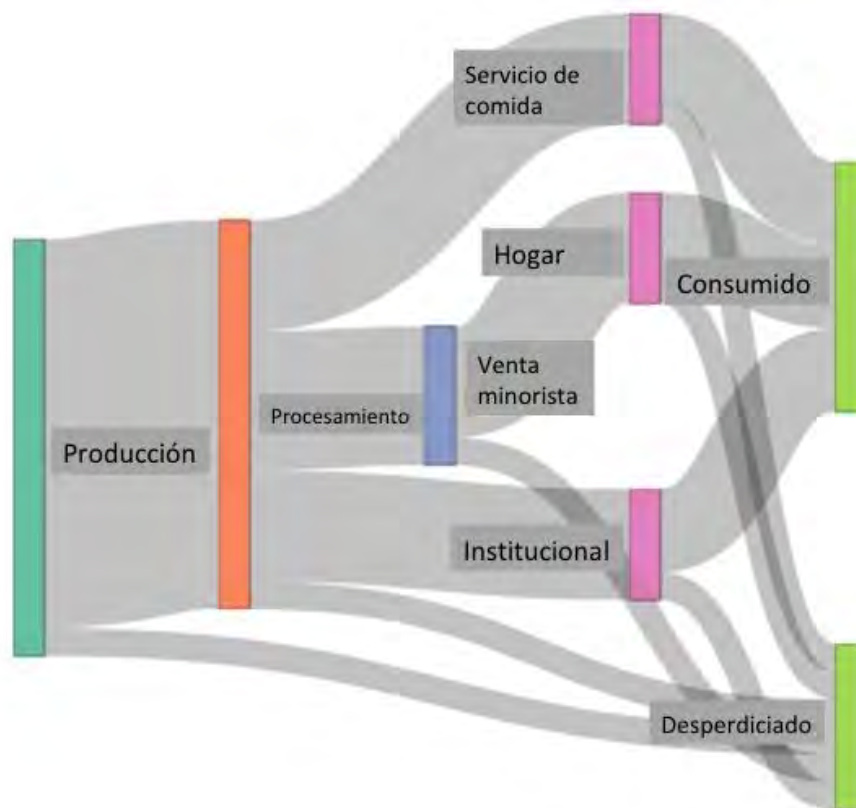


Figura 2. Modelo simplificado de cómo fluyen los alimentos a través de la cadena de suministro de alimentos. La pérdida y el desperdicio de alimentos se generan en todas las etapas: producción acuícola y pesquera, procesamiento de alimentos, venta minorista y consumo. Distinguimos entre el consumo en establecimientos de servicio de alimentos, en instituciones como cafeterías de escuelas u hospitales y en hogares (Fuente: Read et al. 2020).

4. Estrategias para reducir el desperdicio y alcanzar la sostenibilidad de la cadena de suministro de las pesquerías

El desperdicio en la cadena de suministro de las pesquerías representa un desafío significativo para la sostenibilidad ambiental y económica de este sector. A medida que la demanda de productos del mar continúa en aumento, se hace imperativo implementar estrategias efectivas que no solo minimicen las pérdidas, sino que también optimicen el uso de recursos. La adopción de prácticas sostenibles, como la mejora en la gestión del inventario, el uso de tecnologías innovadoras y la colaboración entre actores de la cadena, puede transformar la manera en que las pesquerías

operan. Este enfoque no solo beneficiará a los ecosistemas marinos, sino que también garantizará la viabilidad económica de las comunidades que dependen de la pesca, promoviendo así un equilibrio entre la actividad económica y la conservación del medio ambiente. Reducir el desperdicio en las cadenas de suministro de las pesquerías es crucial para la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica; de acuerdo con la FAO (2024) se requieren soluciones multidimensionales para mitigar la pérdida y el desperdicio de recursos pesqueros. Se han identificado varias estrategias para abordar este problema de manera eficaz y, de acuerdo con su enfoque, se pueden clasificar en 4 grupos:

4.1 Estrategias de alimentación y piensos

- *Formulación de la piensos*: el uso de alimentos altamente digestibles puede reducir significativamente la excreción de desechos sólidos en la acuicultura. Esto implica seleccionar ingredientes de piensos y métodos de procesamiento que mejoren la disponibilidad de nutrientes y mejoren la consistencia de las heces, lo que ayuda a la eliminación de desechos sólidos (Amirkolaie, 2011).
- *Equilibrio de nutrientes*: balancear las proteínas y la energía en las dietas de los organismos acuícolas en cultivo puede reducir el desperdicio de nitrógeno disuelto, mientras que la selección cuidadosa de los ingredientes puede disminuir el desperdicio de fósforo (Amirkolaie, 2011).

4.2 Gestión de la cadena de suministro

- *Enfoque de toda la cadena de suministro*: la implementación de un sistema integral de gestión de la cadena de suministro que incluya modelos de evaluación del ciclo de vida puede optimizar estrategias de producción más limpia en todas las etapas, desde la captura hasta la venta minorista. Este enfoque puede minimizar la manipulación innecesaria, el uso de energía y los costos de almacenamiento, reduciendo así el desperdicio (Denham et al., 2015).
- *Intercambio de información*: el desarrollo de repositorios de información basados en la web puede ayudar a las partes interesadas a acceder a datos críticos para orientar el desarrollo de políticas y gestión de los recursos de manera eficaz, reduciendo la pérdida y el desperdicio de alimentos (Peñarubia et al., 2020).



4.3 Economía circular y utilización de recursos

- *Utilización de subproductos:* los desechos de las pesquerías se pueden convertir en productos valiosos, como alimentos para animales, biodiesel y biogás, lo que reduce el impacto ambiental y brinda beneficios económicos (Arvanitoyannis y Kassaveti, 2008; Lopes et al., 2015; Coppola et al., 2021). Así mismo, la transformación de esta materia en recursos de valor agregado, como colágeno y péptidos bioactivos, puede respaldar una bioeconomía circular. Este enfoque no solo reduce el desperdicio, sino que también crea oportunidades económicas al producir materiales de valor añadido (Coppola et al., 2021).
- *Tecnologías innovadoras:* la exploración de tecnologías como la producción de hidroxiapatita y la generación de biometano, a partir de residuos de procesamiento de organismos acuáticos, puede mejorar la utilización de subproductos, promoviendo la sostenibilidad (Sultan et al., 2022).
- *Mejoras en la cadena de suministro:* en los países en desarrollo, abordar las cadenas de suministro fragmentadas, mejorar las prácticas de manipulación y garantizar cadenas de frío continuas son esenciales para reducir el desperdicio y mejorar la calidad de los productos de las pesquerías (Sultan et al., 2022).

4.4 Soluciones multidimensionales a la pérdida y el desperdicio de alimentos (PDA)

En el Código de Conducta Voluntario para la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos de la FAO, se promueve un enfoque multidimensional y multilateral que incluye ideas y ejemplos de soluciones generales para reducir la PDA que pueden trasladarse al contexto de la pesca. Algo fundamental para el enfoque de soluciones multidimensionales promovido por la FAO es la elaboración de una estrategia que vincule los diferentes aspectos de la solución. Una estrategia de soluciones multidimensionales se basa en la evaluación de la PDA, la cual proporciona una comprensión necesaria de: i) dónde y cuándo se está dando la PDA; ii) cuáles son sus causas; iii) cuál es su alcance (por ejemplo, volumen y repercusión económica); y iv) cuáles son las principales partes interesadas afectadas (así como los posibles beneficiarios de las soluciones multidimensionales). El proceso de elaboración de una estrategia de soluciones multidimensionales requiere un equipo multidisciplinario que lleve a cabo de manera sistemática un proceso de “teoría del cambio”. Los pasos del proceso se muestran en la figura 3 (FAO 2024).



Figura 3. Proceso de la estrategia de soluciones multidimensionales para la pérdida y el desperdicio de recursos pesqueros (Fuente: FAO, 2024). Notas: PDA = pérdida y desperdicio de alimentos. Abordar la PDA en las cadenas de valor de los alimentos acuáticos requiere un enfoque de múltiples partes interesadas centrado en una combinación de algunos o todos los puntos de partida.

Los objetivos encaminados a reducir las pérdidas pos cosecha en el sector pesquero deben ser siempre específicos, coherentes y alcanzables (figura 4). Para ser específicos, deben comprender claramente lo que se pretende lograr y cómo se evaluará. Para ser coherente, un objetivo debe ser compatible con las políticas nacionales e internacionales existentes en el sector pesquero. Algunos de los objetivos de reducción de pérdidas pueden ser:

- 1) Mejorar la calidad del pescado capturado en un 50%,
- 2) Aumentar el valor del pescado en un 30-40%,
- 3) Reducir los descartes de pescado en un 60-80%,



- 4) Agregar valor a las capturas de pescado de bajo valor en un 40-50%,
- 5) Desarrollar cinco nuevos productos a partir de la captura incidental de bajo valor,
- 6) Desarrollar un sistema de información de mercado en tiempo real,
- 7) Introducir tres nuevas tecnologías de conservación de pescado para una región geográfica específica, y
- 8) Duplicar las oportunidades de comercialización de pescado vivo.

La adopción de cualquier intervención de este tipo dependerá de cuestiones como si los pescadores conocen la intervención, los beneficios, el costo de la inversión y la viabilidad, además de la aceptación cultural (Keerthana et al., 2022).



Figura 4. Intervenciones para la reducción de pérdidas post-cosecha en el sector pesquero (Fuente: Keerthana et al. 2022).

5. Innovaciones en la reducción de desperdicios en las cadenas de suministro de productos del mar

Las innovaciones en la reducción de desperdicios en las cadenas de suministro de productos del mar se centran en la creación de procesos más eficientes, sostenibles y económicamente viables. Estas innovaciones tienen como objetivo abordar los importantes residuos generados en la industria de los productos del mar, que plantean desafíos ambientales y económicos. La implementación de redes de cadenas de suministro de circuito cerrado puede reducir significativamente los residuos al supervisar toda la cadena de suministro de productos del mar, y utilizar los residuos para crear valor agregado para otras industrias. Este enfoque ayuda a minimizar los costos operativos a través de modelos matemáticos avanzados (Chokri et al., 2024; Mosallanezhad et al., 2021). Técnicas como el reciclaje de agua en el procesamiento de productos del mar pueden generar ahorros sustanciales de recursos y la producción de subproductos valiosos como el aceite de pescado. Estos métodos han demostrado beneficios tanto ambientales como económicos, con reducciones significativas en el uso de agua y períodos de recuperación rápidos (Alkaya y Demirer, 2016). Se están explorando métodos de conservación químicos y físicos (sostenibles), incluido el uso de ácidos orgánicos, conservantes de origen biológico y tecnologías como el plasma frío y la irradiación UV-C, para prevenir la pérdida de productos del mar y reducir el desperdicio: los quitosanos, derivados de fuentes naturales, son particularmente prometedores (Conz et al., 2024). Las estrategias de producción más limpia en toda la cadena de suministro de productos del mar pueden reducir la manipulación innecesaria, el uso de energía y la producción de desechos. Se recomienda un sistema de gestión integral de la cadena de suministro que incorpore la evaluación del ciclo de vida para lograr la máxima reducción del impacto ambiental (Denham et al., 2015). Una estrategia de cero residuos implica estructurar las cadenas de suministro en capas primarias, secundarias e inversas para reciclar los residuos en nuevos productos, logrando una alta eficiencia de eliminación de residuos y minimizando el consumo de energía (Iqbal et al., 2020). Finalmente, las innovaciones en tecnología, organización y marketing pueden reducir significativamente el desperdicio de alimentos. Por ejemplo, las aplicaciones para teléfonos inteligentes que promueven la venta de productos próximos a caducar han logrado reducir los desechos en el sector minorista (Aramyan et al., 2020).



6. Economía Circular en la Pesca: Maximización del Valor de Subproductos y Residuos

El valor añadido de los subproductos y residuos de las pesquerías es un tema de creciente relevancia en un mundo que busca maximizar la sostenibilidad y minimizar el desperdicio. En la industria pesquera, una gran cantidad de recursos se pierden al desestimar partes de los peces y otros organismos marinos que, si se gestionan adecuadamente, pueden transformarse en productos de alto valor. Desde la producción de harinas y aceites hasta la elaboración de bioproductos y suplementos nutricionales, los subproductos ofrecen oportunidades significativas para diversificar ingresos y reducir el impacto ambiental. Al fomentar la innovación y la investigación en el aprovechamiento de estos residuos, se puede contribuir no solo a la rentabilidad de las empresas pesqueras, sino también a la salud del ecosistema marino, promoviendo un modelo de economía circular que beneficia a toda la cadena de suministro. El aumento global de la producción pesquera ha provocado un aumento significativo de los residuos de las pesquerías, lo que plantea desafíos ambientales y económicos. Sin embargo, estos residuos pueden transformarse en recursos valiosos a través de diversos procesos de valorización, contribuyendo a una bioeconomía circular.

6.1 Tipos de productos de valor añadido (tabla 2)

- *Compuestos bioactivos*: los subproductos de pescado pueden convertirse en compuestos de alto valor como colágeno, enzimas y péptidos bioactivos, que tienen aplicaciones en cosméticos, productos farmacéuticos y nutraceuticos (Coppola et al., 2021; Naseem et al., 2023; Halim et al., 2016).
- *Ácidos grasos omega-3*: los desechos de pescado son una fuente rica de ácidos grasos omega-3, como el EPA y el DHA, que son beneficiosos para la salud humana y pueden utilizarse en complementos alimenticios (Alfio et al., 2021; Rustad et al., 2011).
- *Hidrolizados de proteínas*: la hidrólisis enzimática de los desechos de pescado produce hidrolizados de proteínas, que tienen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y otras propiedades bioactivas. Estos se utilizan en la fortificación de alimentos y en la alimentación animal (Araújo et al., 2020; Zamora-Sillero et al., 2018; Ishak & Sarbon, 2017).

Tabla 2. Valor añadido generado por la valorización de residuos pesqueros (Fuente: Circular Economy in Fisheries: A Global Assessment. World Bank, 2023).

Indicador	Valor Global (2023)	Proyección 2030
Mercado global de subproductos pesqueros valorizados	\$18,7 mil millones	\$38,5 mil millones (CAGR 9.2%)
Ahorro en costos de gestión de residuos	\$4,2 mil millones/año	\$9 mil millones/año
Reducción de emisiones de CO ₂ equivalente	12,5 millones de toneladas/año	28 millones de toneladas/año
Empleos generados directamente	180,000	350,000

6.2 Mecanismos de acción (tabla 3)

- *Hidrólisis enzimática*: este proceso se utiliza para recuperar subproductos valiosos como hidrolizados de proteínas, colágeno y aceite de pescado de los desechos de pescado. El grado de hidrólisis influye en el rendimiento y la calidad de estos productos (Araújo et al., 2020; Ishak y Sarbon, 2017).
- *Enfoque de biorefinería*: la utilización de los desechos de pescado como materia prima para biocombustibles y productos químicos de alto valor se alinea con los principios de la economía circular, reduciendo el impacto ambiental y creando beneficios económicos (Alfio et al., 2021; Lopes et al., 2015).

6.3 Impactos ambientales y económicos (tabla 3)

- *Reducción de residuos*: la valorización de los subproductos del pescado reduce significativamente la cantidad de residuos enviados a los vertederos, mitigando la contaminación ambiental (Araujo et al., 2020; Lopes et al., 2015).
- *Beneficios económicos*: la producción de productos de valor agregado a partir de desechos de pescado proporciona ventajas económicas al reducir los costos de gestión de residuos y generar ingresos a partir de productos de alto valor (Lopes et al., 2015; Ucak y Zahid, 2020).

**Tabla 3.** Casos de Éxito: Implementación Efectiva de la Economía Circular en la Pesca.

Caso de éxito	Empresa	Innovación	Proceso	Resultados	Impacto económico
Nueva Zelanda: FishPro – Valorización de residuos en proteínas y aceites de alta calidad	FishPro (filial de Fonterra, en asociación con Seafood New Zealand) Bluff, Nueva Zelanda	Conversión de residuos de merluza y caballa en harinas proteicas y aceites omega-3 de grado farmacéutico.	Los residuos se someten a hidrólisis enzimática y extracción por supercrítico (CO ₂), obteniendo: Harina de pescado de alta digestibilidad (85% de proteína) para alimentación animal. Aceite rico en EPA/DHA (>25%) para suplementos nutracéuticos.	Reducción del 95% de residuos enviados a vertedero; 100% de los subproductos valorizados. Certificaciones: MSC, ISO 14001, GMP+.	Genera \$120 millones anuales en ingresos adicionales
España: PESCA+ – Proyecto LIFE de la UE para valorización de residuos en Andalucía	Universidad de Cádiz, CEAZA, empresas pesqueras (Pescanova, Iberpescado) Cádiz, España	Producción de collagen peptides, chitosan de espinas de pescado y bioplásticos biodegradables.	Extracción de colágeno mediante fermentación microbiana y conversión de quitina (de cáscaras de crustáceos) en chitosan. Productos finales: Peptidos de colágeno para cosmética (marca MarineCollagen™). Bioplásticos de base marina para envases compostables (colaboración con EcofishPack).	Reducción del 70% de residuos orgánicos. Creación de 45 nuevos puestos de trabajo en zonas rurales pesqueras. Reconocimiento: Premio Europeo de Economía Circular 2023.	Ahorro de €18M/año en costos de gestión de residuos.
Islandia: Omega Protein – Recuperación de ácidos grasos y biofertilizantes	Omega Protein (ahora parte de Cermaq) Reykjavik, Islandia	Uso de sobras de processing de arenque y bacalao para producir: Aceites de omega-3 certificados por IFOS (International Fish Oil Standards);	Fermentación anaeróbica + membrana de ultrafiltración.	Desarrollo de un Mercado de Aceites vendidos a fabricantes de suplementos (Nordic Naturals, Pharmavite); y de fertilizantes usados	98% de valorización de residuos. Reducción del 40% en emisiones de CO ₂ comparado con eliminación tradicional.

		Biofertilizantes líquidos a partir de hidrolizados de tejidos.		en cultivos orgánicos en Europa.	Ingresos adicionales: \$85 millones/año desde 2020.
Tailandia: The Blue Economy Initiative – Valorización de camarón en polvo funcional	Thai Union Group + King Mongkut’s University of Technology Thonburi	Transformación de cáscaras de camarón en “Shrimp Powder” rico en quitina, calcio y antioxidantes.	Fermentación microbiana y conversión de quitina en chitosan. Productos finales: Suplemento nutricional para animales (ganadería y acuicultura). Aditivo en alimentos para humanos (fortificación de pan, pasta). Componente en envases activos (liberación controlada de antioxidantes).	15,000 toneladas/año de residuos valorizados. Reducción del 60% en costos de disposición de residuos.	Exportaciones de “Shrimp Functional Powder” a Japón y Alemania: \$22M/año.

Nota: Datos obtenidos de las siguientes fuentes:

FishPro – Sustainable Seafood Processing (<https://www.fishpro.co.nz/sustainability>);

LIFE PESCA+ Project – EU Commission,

(https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspProject&lang=EN&proj_id=68317);

Omega Protein Sustainability Report 2023 (<https://www.omegaprotein.com/sustainability>);

Thai Union Sustainability Report 2023 (<https://www.thaiunion.com/wp-content/uploads/2023/09/Thai-Union-Sustainability-Report-2023.pdf>)



7. Orientaciones futuras y recomendaciones estratégicas (tabla 4)

Si bien los procesos de valorización ofrecen beneficios ambientales, es fundamental evaluar su sostenibilidad general, incluidos los posibles impactos ambientales en comparación con los métodos tradicionales de gestión de residuos (Lopes et al., 2015). Se necesita una investigación y un desarrollo continuos de tecnologías de extracción y procesamiento eficientes, para maximizar el potencial de los subproductos del pescado (Rustad et al., 2011; Ishak y Sarbon, 2017).

Entre las lagunas en la investigación se encuentran la necesidad de realizar evaluaciones sólidas de impacto de las intervenciones destinadas a reducir la pérdida y el desperdicio de las pesquerías, además de estudios que evalúen el impacto diferencial en hombres y mujeres (Kruijssen et al., 2020). También es necesario que se realicen más investigaciones sobre los aspectos relacionados con la cadena de suministro y el desarrollo de cadenas de suministro circulares y sostenibles, en particular, en las economías en desarrollo (Sultan et al., 2022). También se destaca como futura orientación de la investigación el enfoque en la digitalización y las directrices formales para la cuantificación precisa de la pérdida y el desperdicio de alimentos (Chauhan et al., 2021). Finalmente, hacer énfasis en la economía circular y abordar desafíos específicos en las economías en desarrollo puede mejorar aún más la sostenibilidad y los beneficios económicos.

Tabla 4. Oportunidades y desafíos de los resultados de la gestión de residuos alimentarios (Do et al., 2021).

Categorías	Opciones tecnológicas	Oportunidades	Desafíos
Materiales de origen biológico (alimentos funcionales, suplementos, enzimas, colorantes, bioplásticos).	Tecnología supercrítica, Separación por membranas, Química verde, Extracción por disolventes, Extracción enzimática, Extracción electroquímica (ultrasonidos, microondas).	<i>Oferta:</i> el suministro a gran escala, concentrado y de bajo costo de materia prima para desechos desperdiciados <i>Mercado:</i> el cambio de los consumidores hacia productos de base natural.	<i>Tecnología:</i> El bajo nivel de madurez tecnológica (TRL), principalmente a escala de laboratorio, implica un alto costo de I+D y una gran incertidumbre en la inversión. <i>Cuantificación:</i> baja confiabilidad en la estimación del potencial de los materiales en términos de cantidad y calidad. <i>Logística:</i> alto costo logístico involucrado en la recolección y almacenamiento para la conservación de la calidad. <i>Mercado:</i> el conocimiento del valor económico y nutricional de los productos nutraceuticos es bastante limitado, mientras que la modificación excesiva de los alimentos podría causar un riesgo potencial para la salud de los consumidores.
Alimento para animales (harina de insectos, ingredientes de piensos).	Biorrefinería de invertebrados. Microalgas	<i>Oferta:</i> el suministro a gran escala, concentrado y de bajo costo de materia prima para desechos desperdiciados <i>Mercado:</i> el cambio de los consumidores hacia productos de base natural.	<i>Tecnología:</i> el cultivo de microalgas se encuentra en una etapa temprana <i>Mercado:</i> las preocupaciones por la seguridad y la baja aceptación por parte de los clientes obstaculizan la proliferación de piensos para animales a partir de residuos. <i>Política:</i> las regulaciones sobre la producción de piensos para animales son más estrictas en algunos países, en particular en la UE.
Energía (biogás, biodiésel, biocarbón, líquido, gas, combustibles, calor y electricidad).	AD Pirólisis, Gasificación, Fermentación, Cogeneración.	<i>Tecnología:</i> la tecnología de conversión de energía tiene un alto TRL <i>Logística:</i> la introducción de un transporte innovador de FLW, es decir, un contenedor de reciclaje inteligente, eliminación de FLW debajo del fregadero que se conecta al sistema de alcantarillado, transmisión por tuberías	<i>Tecnología:</i> se necesita más investigación y desarrollo para encontrar la materia prima óptima, así como un diseño y condiciones de proceso óptimos para hacer frente al problema del bajo rendimiento y maximizar la producción de los productos deseados <i>Oferta:</i> los lugares de suministro están geográficamente dispersos; la materia prima de PDA tiene características regionales y estacionales; se requiere segregación en la fuente.



Composta	Digestatos del compostaje AD, Vermicompostaje.	<p><i>Logística:</i> un creciente interés en el compostaje descentralizado (por ejemplo, el compostaje comunitario o doméstico)</p> <p><i>Mercado:</i> la demanda de fertilizantes siempre supera la oferta; las preferencias de los consumidores hacia los alimentos producidos a partir de materiales reciclados y ecológicos mejoran el valor intrínseco del digestato utilizado como fertilizantes/compost reciclados.</p>	<p><i>Tecnología:</i> esta tecnología tiene una escala de producción pequeña en comparación con la producción de fertilizantes a base de combustibles fósiles, presenta dificultades de planificación y uso, provoca olores desagradables en los vecinos y existe un conocimiento limitado sobre el vermicompostaje.</p> <p><i>Logística:</i> altos costos de recolección y manipulación.</p> <p><i>Política:</i> el estatus legal del digestato, que varía en los distintos países, dificulta su uso y no existen controles de calidad ni criterios específicos para su uso como fertilizantes.</p> <p><i>Mercado:</i> falta de interés por parte de los productores de fertilizantes y no hay presión para el cambio en la industria de los fertilizantes (fósforo).</p>
-----------------	--	--	--

Recomendaciones estratégicas

1. Subvencionar biorefinerías descentralizadas en zonas pesqueras.
2. Crear sellos de “Pesca Circular” para diferenciación en mercados.
3. Fomentar alianzas público-privadas para investigación aplicada.
4. Promover educación del consumidor sobre beneficios de productos derivados de residuos.

Conclusiones

La economía circular en la pesca ya es viable, rentable y escalable. Los casos de Nueva Zelanda, España, Islandia y Tailandia demuestran que la valorización de residuos puede generar más valor que el producto principal (tabla 5). Las tecnologías emergentes (biorefinerías, nanotecnología, digitalización) están acelerando la transición hacia modelos circulares. El impacto económico es claro: márgenes de beneficio superiores al 250% en productos de alto valor añadido, ahorros en costos de residuos y creación de empleo local (tabla 6).

Conforme se den avances en materia de innovaciones de cadenas de valor y comercio sostenibles para reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos en los sistemas alimentarios acuáticos, se hace más imprescindible abordar desafíos pendientes, específicamente, abordar el tema de regulaciones fragmentadas, falta de infraestructura en países en desarrollo, y percepción social negativa de “comida de desecho”.



Tabla 5. Productos Innovadores disponibles en el Mercado resultado de la valorización de residuos de las pesquerías.

Producto	Empresa	Origen	Aplicación	Certificación
MarineCollagen™	PESCA+ (España)	Espinas de merluza	Cosmética anti-edad	ECOCERT, COSMOS
ShrimpPower	Thai Union	Cáscaras de camarón	Suplemento nutricional	Non-GMO, Halal
FishProtex™	Omega Protein	Vísceras de arenque	Alimento para mascotas	AAFCO, FEDIAF
AquaPlast™	AquaPolymers	Quitina de langosta	Envases compostables	OK Compost, EN 13432
OceanBiotics™	DSM (Países Bajos)	Extractos de pescado	Probióticos marinos	GRAS, EFSA

Fuente: DSM OceanBiotics Product Page

(<https://www.dsm.com/en/products/nutrition/ocean-biotics.html>)

Tabla 6. Rentabilidad por producto (ejemplos comparativos).

Producto	Costo de producción (USD/kg)	Precio de mercado (USD/kg)	Margen bruto
Harina de pescado convencional	1.20	2.10	75%
Harina de pescado de alta pureza (EC)	2.50	8.90	256%
Aceite omega-3 farmacéutico	35.00	150.00	329%
Chitosan (grado médico)	18.00	85.00	372%
Bioplástico marino	4.00	12.00	200%

Fuente: Economic Potential of Marine By-products, FAO & OECD (2022).

Literatura Citada

1. Acharjee, D., Hossain, M., y Alam, G. 2021. *Post-harvest fish loss in the fish value chain and the determinants: empirical evidence from Bangladesh*. Aquaculture International 29: 1711-1720. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00711-8>
2. Aissaoui, Y., Mokhbi-Soukane, D., Mezouar, K., y Soukane, S. 2022. *Numerical Investigation of the Impact of Onshore Fish Farming on the Western Coast of Algeria*. Aquaculture Studies. <https://doi.org/10.4194/aquast934>
3. Alfio, V., Manzo, C., y Micillo, R. 2021. *From Fish Waste to Value: An Overview of the Sustainable Recovery of Omega-3 for Food Supplements*. Molecules 26. <https://doi.org/10.3390/molecules26041002>
4. Alkaya, E., y Demirer, G. 2016. *Minimizing and adding value to seafood processing wastes*. Food and Bioproducts Processing 100:195-202. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2016.07.003>
5. Amirkolaie, A. 2011. *Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding*. Reviews in Aquaculture 3:19-26. <https://doi.org/10.1111/J.1753-5131.2010.01040.X>
6. Aramyan, L., Grainger, M., Logatcheva, K., Piras, S., Setti, M., Stewart, G., y Vittuari, M. 2020. *Food waste reduction in supply chains through innovations: a review*. Measuring Business Excellence. <https://doi.org/10.1108/mbe-11-2019-0105>
7. Araújo, J., Sica, P., Sica, P., Costa, C., y Márquez, M. 2020. *Enzymatic Hydrolysis of Fish Waste as an Alternative to Produce High Value-Added Products*. Waste and Biomass Valorization 12: 847-855. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01029-x>
8. Arvanitoyannis, I., y Kassaveti, A. 2008. *Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses*. International Journal of Food Science and Technology 43: 726-745. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.01513.X>
9. Assefa, A., Abunna, F., Biset, W., y Leta, S. 2018. *Assessment of post-harvest fish losses in two selected lakes of Amhara Region, Northern Ethiopia*. Heliyon 4. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00949>
10. Conz, A., Davoli, E., Franchi, C., y Diomede, L. 2024. *Seafood loss prevention and waste reduction*. Food Quality and Safety. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyae017>
11. Coppola, D., Lauritano, C., Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., y De Pascale, D. 2021. *Fish Waste: From Problem to Valuable Resource*. Marine Drugs 19. <https://doi.org/10.3390/md19020116>



12. Chary, K., Callier, M., Covés, D., Aubin, J., Simon, J., y Fiandrino, A. 2021. *Scenarios of fish waste deposition at the sub-lagoon scale: a modelling approach for aquaculture zoning and site selection*. ICES Journal of Marine Science. <https://doi.org/10.1093/ICESJMS/FSAA238>
13. Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M., y Salo, J. 2021. *Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach*. Journal of Cleaner Production 295: 126438. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126438>
14. Chokri, H., Nouaouri, I., Allaoui, H., y Lasram, F. 2024. *Seafood closed-loop supply chain network design*. 2024 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT): 2989-2994. <https://doi.org/10.1109/CoDIT62066.2024.10708178>
15. Denham, F., Howieson, J., Solah, V., y Biswas, W. 2015. *Environmental supply chain management in the seafood industry: past, present and future approaches*. Journal of Cleaner Production 90: 82-90. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.11.079>
16. Do, D., Ramudhin, A., Colicchia, C., Creazza, A., Li, D. 2021. *A systematic review of research on food loss and waste prevention and management for the circular economy*. International Journal of Production and Economics 239:108209. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108209>
17. EMR. 2024. *Análisis del Mercado de Pescado y Marisco en México*. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-pescado-y-marisco-en-mexico>
18. FAO. 2024. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0683es>
19. Free, C., Thorson, J., Pinsky, M., Oken, K., Wiedenmann, J., y Jensen, O. 2019. *Impacts of historical warming on marine fisheries production*. Science 363: 979-983. <https://doi.org/10.1126/science.aau1758>
20. Halim, N., Yusof, H., y Sarbon, N. 2016. *Functional and bioactive properties of fish protein hydrolisates and peptides: A comprehensive review*. Trends in Food Science and Technology 51: 24-33. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2016.02.007>
21. Hansen, P., Ervik, A., Schaanning, M., Johannessen, P., Aure, J., Jahnsen, T., y Stigebrandt, A. 2001. *Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring)*. Aquaculture 194: 75-92. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00520-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00520-2)

22. Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Díaz-Almela, E., Duarte, C., Frederiksen, M., Grau, A., Karakassis, I., Marbà, N., Mirto, S., Pérez, M., Pusceddu, A., y Tsapakis, M. 2008. *Effects of fish farm waste on Posidonia oceanica meadows: synthesis and provision of monitoring and management tools*. Marine pollution bulletin 56(9): 1618-29. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.05.020>
23. Iqbal, M., Kang, Y., y Jeon, H. 2020. *Zero waste strategy for green supply chain management with minimization of energy consumption*. Journal of Cleaner Production 245: 118827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118827>
24. Ishak, N., y Sarbon, N. 2017. *A Review of Protein Hydrolysates and Bioactive Peptides Deriving from Wastes Generated by Fish Processing*. Food and Bioprocess Technology 11: 2-16. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1940-1>
25. Keerthana, P.S., Gopan, S., Rajabudeen, R., Fathima, R., Shibu, K., Nisha, R., Udayan, P., Elvis, T., Gifty, T., Arun Das, N.H., Dinesh, K., Safeena, M.P. Sreekanth, G.B. 2022. *Post-harvest losses in the fisheries sector-facts, figures, challenges and strategies*. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 10(4): 101-108. DOI: <https://doi.org/10.22271/fish.2022.v10.i4b.2691>
26. Kruijssen, F., Tedesco, I., Ward, A., Pincus, L., Love, D., y Thorne-Lyman, A. 2020. *Loss and waste in fish value chains: A review of the evidence from low and middle-income countries*. Global Food Security 26: 100434. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100434>
27. Lopes, C., Antelo, L., Franco-Uría, A., Alonso, A., y Pérez-Martín, R. 2015. *Valorisation of fish by-products against waste management treatments--Comparison of environmental impacts*. Waste management 46: 103-120. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.017>
28. Mosallanezhad, B., Hajiaghahi-Keshteli, M., y Triki, C. 2021. *Shrimp closed-loop supply chain network design*. Soft Computing 25: 7399-7422. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05698-1>
29. Naseem, S., Imam, A., Rayadurga, A., Ray, A., y Suman, S. 2023. *Trends in fisheries waste utilization: a valuable resource of nutrients and valorized products for the food industry*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 1-21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2211167>
30. Peñarubia, O., Ward, A., Grever, M., Ryder, J. 2020. *Addressing food loss and waste in fish value chain using a web-based information, Repository*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 414. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012016>



31. Plagányi, É. 2019. *Climate change impacts on fisheries*. Science 363: 930-931.
<https://doi.org/10.1126/science.aaw5824>
32. Ps, K., Gopan, S., Rajabudeen, R., Fathima, R., Shibu, K., R, N., Udayan, P., Elvis, T., T, G., Nh, A., K, D., Mp, S., y Gb, S. 2022. *Post-harvest losses in the fisheries sector-facts, figures, challenges and strategies*. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies.
<https://doi.org/10.22271/fish.2022.v10.i4b.2691>
33. Racioppo, A., Speranza, B., Campaniello, D., Sinigaglia, M., Corbo, M., y Bevilacqua, A. 2021. *Fish Loss/Waste and Low-Value Fish Challenges: State of Art, Advances, and Perspectives*. Foods 10. <https://doi.org/10.3390/foods10112725>
34. Read, Q.D., Brown, S., Cuéllar, A.D., Finn, S.M., Gephart, J.A., Marston, L.T., Meyer, E., Weitz, K.A., Muth, M.K. 2020. *Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain*. Science and Total Environment 712.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136255>
35. Rustad, T., Storrø, I., y Slizyte, R. 2011. *Possibilities for the utilization of marine by-products*. International Journal of Food Science and Technology 46: 2001-2014.
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2011.02736.X>
36. Sultan, F., Routroy, S., y Thakur, M. 2022. *Understanding fish waste management using bibliometric analysis: A supply chain perspective*. Waste Management and Research 41: 531-553. <https://doi.org/10.1177/0734242X221122556>
37. Ucak, I., y Zahid, M. 2020. *Value-added fish products*. Eurasian Journal of Food Science and Technology 4: 59-69. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1163405>
38. Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., y Prentice, C. 2018. *Peptides from Fish By-product Protein Hydrolysates and Its Functional Properties: An Overview*. Marine Biotechnology 20: 118-130. <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>

Cita

Ascencio, F. y Hernández-Saavedra N.Y. Pérdida y desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de la pesca: Valorización de residuos. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 65-89. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0005>

Sometido: 26 de mayo de 2025

Aceptado: 26 de septiembre de 2025

Editor asociado: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Transforming Food Loss and Waste from Fisheries and Aquaculture into Opportunities for the Social and Solidarity Economy

Transformando Pérdidas y Desperdicio de Alimentos de las Pesquerías y Cultivos Acuícolas en Oportunidades para la Economía Social y Solidaria

Felipe Ascencio¹ y Norma Y. Hernández-Saavedra^{2*}

Resumen

La economía social y solidaria (ESS) es un enfoque económico que prioriza la satisfacción de las necesidades de las personas y el bienestar social por encima de la acumulación de capital. Este enfoque involucra organizaciones y otras entidades que producen bienes, servicios y conocimientos, mientras persiguen objetivos económicos y sociales y promueven la solidaridad, la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos, alineándose con objetivos ambientales y sociales más amplios. Desempeña un papel fundamental en la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor del pescado al promover prácticas sostenibles, mejorar las oportunidades económicas y apoyar la conservación del medio ambiente.

Palabras clave

Pérdidas y desperdicios de alimentos; PDA; Economía Social Solidaria; Aprovechamiento de subproductos y desperdicios; Pesquerías; Cadenas de valor.

¹ Programa de Acuicultura

² Programa de Ecología Pesquera

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: nhernan04@cibnor.mx



Abstract

The social and solidarity economy (SSE) is an economic approach that prioritizes the satisfaction of people's needs and social well-being over capital accumulation. This approach involves organizations and other entities that produce goods, services, and knowledge while pursuing economic and social objectives and promoting solidarity, sustainability, and resource efficiency, aligning with broader environmental and social goals. It plays a critical role in reducing food loss and waste in seafood value chains by promoting sustainable practices, enhancing economic opportunities, and supporting environmental conservation.

Keywords

Food loss and waste; FLW; Social and Solidarity Economy; Utilization of by-products and waste; Fisheries; Value chains.

1. Introducción

El sector pesquero enfrenta un doble desafío: por un lado, la sobreexplotación de los recursos marinos que amenaza, a largo plazo, la sostenibilidad de esta actividad vital y, por otro, el gran desperdicio de alimentos que ocurre a lo largo de toda la cadena de valor. En el contexto actual (p.ej. aproximadamente el 75% de las poblaciones de peces en aguas europeas del Mediterráneo se pescan a niveles biológicamente insostenibles -Galindo, 2024-), la transformación de pérdidas y desperdicios pesqueros en oportunidades para la ESS surgen como una estrategia muy prometedora. Esta transformación no solo contribuye a la seguridad alimentaria, proporcionando más de 13 kilos de pescados y mariscos por persona al año en países como México (EDF, 2018), sino que también fortalece comunidades pesqueras y fomenta modelos económicos centrados en las personas y el planeta. Las iniciativas actuales, desde la gestión sostenible de la captura incidental hasta el aprovechamiento de subproductos marinos, demuestran el potencial innovador del sector para combinar beneficios ambientales, sociales y económicos en un marco de ESS (Tabla 1).

Tabla 1. Impactos de la economía social en la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de las pesquerías.

Beneficios económicos y sociales	Impactos ambientales	Políticas e infraestructura
Valor agregado	Eficiencia de los recursos	Directrices y políticas
El uso de desechos de pescado para producir productos de alto valor, como compuestos bioactivos, ácidos grasos omega-3 y otros nutraceuticos, puede transformar los desechos en oportunidades económicas, lo que respalda una economía circular y reduce el impacto ambiental (Racioppo <i>et al.</i> , 2021; Coppola <i>et al.</i> , 2021; Alfio <i>et al.</i> , 2021).	Al integrar los principios de la economía circular, los desechos de pescado pueden reutilizarse, lo que reduce la necesidad de nuevos recursos y minimiza la degradación ambiental (Coppola <i>et al.</i> , 2021; Vilariño <i>et al.</i> , 2017; Do <i>et al.</i> , 2021).	La implementación de las directrices de la FAO y otros marcos de políticas puede proporcionar una hoja de ruta para reducir la pérdida y el desperdicio de pescado, abordando cuestiones tecnológicas, de mercado y de equidad social (Racioppo <i>et al.</i> , 2021).
Participación del mercado y del consumidor	Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	Normalización y medición
El desarrollo de productos a partir de la pérdida de pescado para el consumo humano o la alimentación animal puede atender a diferentes segmentos del mercado, lo que potencialmente aumenta la aceptación del consumidor y reduce el desperdicio (Racioppo <i>et al.</i> , 2021).	Las estrategias eficientes de gestión y reducción de desechos pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la eliminación de desechos alimentarios (Vilariño <i>et al.</i> , 2017; Goossens <i>et al.</i> , 2020).	El desarrollo de enfoques estandarizados para cuantificar y gestionar la pérdida y el desperdicio de pescado puede mejorar la eficacia de las intervenciones y políticas (Kruijssen <i>et al.</i> , 2020).

2. ¿Cómo se puede transformar la pérdida de alimentos en oportunidades económicas?

Transformar la pérdida de alimentos en oportunidades económicas implica un enfoque multifacético que abarca desde la reducción del desperdicio hasta la creación de nuevos productos y servicios. A continuación, se presentan algunas estrategias clave para lograrlo:



2.1 Aprovechamiento de la Captura Incidental

La captura incidental (parte de la captura realizada por el pescador que no es parte de su objetivo de pesca) representa uno de los mayores desafíos, pero también una de las mayores oportunidades para transformar el desperdicio pesquero en valor. El proyecto de la FAO “Gestión Sostenible de la Captura Incidental en la Pesca de Arrastre de América Latina y el Caribe” (REBYC-II LAC, por sus siglas en inglés) ejemplifica cómo se puede abordar este reto desde una perspectiva integrada, cuyo objetivo fundamental es reducir la pérdida de alimentos y mejorar su disponibilidad, mediante la optimización de la gestión y el uso de las capturas incidentales y garantizando medios de subsistencia sostenibles para el sector pesquero (FAO, 2024). La seguridad alimentaria no consiste solo en producir más alimentos, sino en garantizar que los alimentos que se produzcan se consuman o se utilicen de forma eficiente. En el caso de la pesca, esto significa asegurar que el producto capturado sea efectivamente consumido, incluyendo aquellas especies o ejemplares que tradicionalmente se descartan (FAO, 2024). Cuando la captura incidental se gestiona y utiliza eficazmente, puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y nutricional, constituyendo una importante fuente de alimento e ingresos para las poblaciones locales. Sin embargo, cuando se desecha, representa una pérdida significativa tanto de potencial alimentario como económico (FAO, 2024).

La transformación de la captura incidental de un problema a una oportunidad requiere un enfoque multidimensional que incluye mejoras en las artes de pesca para hacerlas más selectivas, el desarrollo de mercados para especies menos conocidas, la capacitación de pescadores en técnicas de manejo y procesamiento, y la sensibilización del consumidor sobre el valor de una diversidad más amplia de productos del mar.

2.2 El sector pesquero y acuícola como motor de la economía social: características de la ESS en la pesca

La ESS representa un paradigma económico que prioriza a las personas y al planeta sobre el beneficio económico inmediato. En el contexto pesquero, este modelo adquiere características particulares que lo hacen especialmente compatible con las necesidades y realidades de las comunidades costeras. Como señala la iniciativa "Yo soy economía social del mar" desarrollada por FUNDAMAR en 2024, el sector pesquero es una pieza clave "contribuyendo al desarrollo sostenible de nuestras comunidades y al bienestar de las personas" (FUNDAMAR, 2024).

Esta iniciativa, apoyada por el Ministerio de Trabajo y Economía Social de España, tiene como finalidad dotar de herramientas metodológicas que permitan al sector pesquero, favorecer la interlocución y la gobernanza entre el sector y su entorno, además de promocionar los valores y principios de la ESS, e incentivar la inclusión y concienciación ambiental (FUNDAMAR, 2024). Estos objetivos alinean perfectamente con la necesidad de transformar el enfoque pesquero, de un modelo extractivo a uno más integrado y sostenible.

En el sector pesquero, la ESS se caracteriza por formas organizativas como cooperativas, asociaciones de pescadores artesanales y empresas sociales que operan bajo principios de solidaridad, equidad y gestión democrática. Estas estructuras facilitan tanto la implementación de prácticas sostenibles como el reparto más justo de los beneficios generados por la actividad pesquera, creando así un círculo virtuoso entre sostenibilidad ecológica y bienestar social. Sin embargo, hay que reconocer también que en el caso de México hay una amplia variedad de experiencias. Ciertamente las cooperativas pesqueras de la denominada región Pacífico Norte de B.C.S. son un ejemplo del buen funcionamiento y evolución de estos sistemas de producción social, sin embargo, lamentablemente esta no es la regla para gran parte del litoral mexicano.

3. Papel de la ESS en la gestión del desperdicio alimentario

La ESS desempeña un papel fundamental en la gestión del desperdicio alimentario al aprovechar las iniciativas comunitarias y las plataformas de economía colaborativa para reducir el desperdicio y promover la sostenibilidad.

- **Plataformas de intercambio entre pares.** Las iniciativas de ESS, como las aplicaciones de intercambio de alimentos entre pares, han demostrado ser eficaces para reducir el desperdicio alimentario. Por ejemplo, un estudio descubrió que, durante 19 meses, 90 toneladas de desperdicios alimentarios se desviaron de la eliminación a través de una aplicación popular, lo que destaca el potencial de las redes sociales habilitadas digitalmente para reducir eficazmente el desperdicio alimentario (Makov *et al.*, 2020). Los [bancos de alimentos](#) (entidades sin ánimo de lucro que reciben y recogen alimentos excedentes de comercios, empresas o personas para repartirlos con las personas que los necesitan) son otro ejemplo para la gestión del desperdicio alimentario para repartirlos con las personas que los necesitan.



- **Sistemas comerciales de mutualización entre pares.** Los Sistemas Comerciales de Mutualización entre Pares (o CPMS, por sus siglas en inglés), actúan como plataformas de mercado para el intercambio de excedentes alimentarios, creando incentivos para una gestión eficiente de los alimentos. El éxito de los CPMS, como Imperfect Produce, Inc., demuestra su potencial para reducir el desperdicio alimentario al facilitar las transacciones en los mercados secundarios (Richards y Hamilton, 2018).
- **Capital social comunitario.** Dentro de las comunidades, el capital social influye en los comportamientos relacionados con el desperdicio de alimentos. Un mayor capital social se asocia con menores niveles de desperdicio de alimentos, ya que mejora la conciencia y las capacidades organizativas para gestionar eficazmente los recursos alimentarios (Piras *et al.*, 2021).
- **Integración de la economía circular.** La economía social apoya la transición a una economía circular al promover prácticas que reducen el desperdicio y prolongan la vida de los recursos. Este enfoque se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible, en particular en la reducción del hambre y la promoción del consumo responsable (Prokić *et al.*, 2022; Närvänen *et al.*, 2020; Dudziak *et al.*, 2022).
- **Participación de las partes interesadas.** Involucrar a diversas partes interesadas, incluidos los ciudadanos y las organizaciones de la sociedad civil, es crucial para aumentar la aceptabilidad social de las prácticas de bioeconomía circular. Esta participación mejora la coordinación en la gestión de residuos y mejora la recuperación de recursos (Morone e Imbert, 2020).

4. Función de la economía social en la gestión de los residuos alimentarios de las pesquerías

La función de la economía social en la gestión de los residuos alimentarios de la pesca es fundamental para promover prácticas sostenibles y mejorar los beneficios socioeconómicos de la pesca. La integración de los principios de la economía social puede ayudar a transformar los residuos de la pesca y acuicultura de un problema a un recurso valioso, contribuyendo a una bioeconomía circular. La economía social apoya la economía circular al promover la valorización de los residuos de pescado en productos de alto valor, como enzimas, péptidos y aceite de pescado,

que pueden utilizarse en la fortificación de alimentos y la alimentación animal (Coppola *et al.*, 2021; Naseem *et al.*, 2023; Meena *et al.*, 2024). Este enfoque no solo reduce los residuos, sino que también crea oportunidades económicas. Las iniciativas de economía social pueden alinearse con los tres pilares de la sostenibilidad (económico, social y ambiental) al garantizar que los sistemas de gestión pesquera estén diseñados para respaldar estos objetivos sin sacrificar nada (Asche *et al.*, 2018). Esto incluye la creación de empleos y fuentes de ingresos alternativas para las comunidades locales, especialmente durante las temporadas de veda de pesca (Mozumder *et al.*, 2022).

La participación de diversas partes interesadas, incluidas las comunidades locales y las organizaciones de la sociedad civil, es crucial para aumentar la aceptabilidad social de las instalaciones de gestión de residuos. Esta participación ayuda a coordinar los esfuerzos de gestión de residuos y a mejorar la disponibilidad de materia prima (Morone e Imbert, 2020). El capital social desempeña un papel importante en el desarrollo de las Cadenas Cortas de Suministro de Alimentos (CCSA, por sus siglas en español), que pueden aumentar la participación de mercado de los productos pesqueros locales y mejorar el desarrollo territorial. Este enfoque ayuda a reconectar la industria con las comunidades locales, agregando valor y promoviendo el crecimiento económico local (Freeman *et al.*, 2023).

5. ¿Cuáles son los impactos de la economía social en la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de las pesquerías?

La economía social puede tener un impacto significativo en la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor del pescado al promover prácticas sostenibles y mejorar la utilización de los recursos (Tabla 2).



Tabla 2. Enfoque multifacético transformar la pérdida de alimentos en oportunidades económicas.

Enfoque	Estrategia para la reducción de desperdicios	Meta
Reducción del Desperdicio Alimentario	Optimización de la Cadena de Suministro.	Mejorar la gestión de inventarios y el transporte para minimizar daños y pérdidas durante el almacenamiento y distribución (Goodwin, 2023).
	Tecnología y Digitalización.	Utilizar software de gestión de inventarios y aplicaciones para monitorear y optimizar el flujo de alimentos (ICSAM, 2024).
Valorización de Excedentes y Residuos	Donaciones y Redistribución.	Colaborar con bancos de alimentos para redistribuir alimentos aptos para el consumo, reduciendo el desperdicio y generando un impacto social positivo (ICSAM, 2024).
	Transformación de Excedentes.	Procesar alimentos que no cumplen con estándares comerciales para crear nuevos productos, como conservas o sopas (ICSAM, 2024).
	Conversión en Energía o Fertilizantes.	Utilizar residuos orgánicos para generar energía o producir fertilizantes, reduciendo costos y mejorando la sostenibilidad ambiental (2).
Innovación y Emprendimiento	Desarrollo de Nuevos Productos:	Crear productos innovadores a partir de subproductos alimentarios, como cosméticos o alimentos para animales (2).
	Plataformas Digitales.	Utilizar aplicaciones para conectar a productores con consumidores o donantes, facilitando la redistribución de alimentos (ICSAM, 2024) .
Economía Circular y Sostenibilidad	Ciclo Cerrado de Nutrientes.	Reincorporar nutrientes a la tierra mediante el compostaje o el uso de residuos orgánicos en la agricultura (Veolia, 2024).
	Generación de Biogás.	Utilizar la digestión anaeróbica para producir biogás, reduciendo emisiones y generando energía renovable (Veolia, 2024).
Colaboración y Políticas Públicas	Alianzas Estratégicas.	Colaborar con organizaciones benéficas, startups y gobiernos para implementar políticas y tecnologías que reduzcan el desperdicio (ICSAM, 2024).
	Regulaciones y Incentivos.	Establecer marcos regulatorios que fomenten la reducción del desperdicio y ofrezcan incentivos para empresas que adopten prácticas sostenibles (Banco Mundial, 2020).

6. Pérdida y desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de las pesquerías: desafíos y oportunidades para la economía social y solidaria

La pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de las pesquerías plantean desafíos y oportunidades importantes, en particular en el contexto de la economía social y solidaria. Abordar estas cuestiones es fundamental para mejorar la sostenibilidad, reducir los impactos ambientales y mejorar los resultados económicos de la pesca.

6.1 Desafíos en las cadenas de valor de las pesquerías

- **Alcance del desperdicio.** Una parte importante de las pesquerías se descarta como desperdicio; se estima que alrededor de dos tercios de la captura total no se utiliza, lo que genera preocupaciones económicas y ambientales (Coppola *et al.*, 2021). Este desperdicio se produce en varias etapas de la cadena de valor, desde la producción hasta el consumo, y está influenciado por factores como la mala gestión y las interrupciones de la cadena de suministro (Kruijssen *et al.*, 2020; Chauhan *et al.*, 2021).
- **Cuantificación y medición.** Existe una variación significativa en las estimaciones de la pérdida de las pesquerías en las diferentes partes de la cadena de valor, en gran medida debido a los diversos enfoques de medición. Esto incluye pérdidas físicas, nutricionales y de fuerza de mercado, con una brecha notable en los estudios de campo sobre la pérdida nutricional (Kruijssen *et al.*, 2020).
- **Preocupaciones de sostenibilidad.** La sobrepesca y la reducción de las poblaciones de organismos marinos se ven exacerbadas por la pérdida y el desperdicio de las pesquerías, lo que plantea un desafío de sostenibilidad global. Esto requiere enfoques innovadores para utilizar recursos pesqueros de bajo valor y reducir el desperdicio (Racioppo *et al.*, 2021).
- **Impactos económicos y ambientales.** Una gran parte de la pesquería se descarta como desperdicio, lo que genera pérdidas económicas y preocupaciones ambientales. Esto resalta la necesidad de estrategias efectivas de gestión y reciclaje de desechos (Coppola *et al.*, 2021).



6.2 Oportunidades para la economía social y solidaria

- **Eficacia de las intervenciones.** El éxito de las intervenciones varía en función de la dinámica de la cadena de suministro, lo que requiere estrategias personalizadas para maximizar la reducción de desperdicios y los beneficios económicos (Gorter *et al.*, 2020).
- **Enfoques de biorrefinería.** el uso de desechos de las pesquerías para producir compuestos bioactivos como compuestos nitrogenados, lípidos y quitosano puede crear oportunidades económicas y reducir el desperdicio (Racioppo *et al.*, 2021).
- **Desarrollo de productos.** Los recursos pesqueros no deseados o de bajo valor se puede reutilizar en productos para consumo humano o alimento animal, lo que brinda oportunidades económicas y aborda las preocupaciones de seguridad alimentaria. Este enfoque puede guiarse por criterios económicos y segmentación de consumidores (Racioppo *et al.*, 2021).
- **Economía circular.** El paradigma de la economía circular ofrece estrategias para prevenir el desperdicio de alimentos, incluidas innovaciones tecnológicas para pronosticar, monitorear y extender la vida útil. Estas estrategias pueden mejorar la colaboración en toda la cadena de suministro para reducir el desperdicio (Ciccullo *et al.*, 2021; Tamasiga *et al.*, 2022).
- **Capital social y desarrollo local.** Las CCSA pueden aumentar la participación de mercado de la pesca local, fomentando el desarrollo territorial y mejorando el capital social dentro de las comunidades (Freeman *et al.*, 2023).
- **Equidad social.** Abordar los impactos diferenciales de la pérdida de recursos pesqueros en hombres y mujeres puede mejorar la equidad social y garantizar beneficios inclusivos de las estrategias de reducción de desperdicios (Kruijssen *et al.*, 2020).

7. Direcciones futuras

7.1 Políticas y directrices

La implementación de directrices formales e intervenciones políticas puede ayudar a cuantificar y reducir con precisión la pérdida y el desperdicio de las pesquerías. Estas medidas pueden respaldar el desarrollo de una cadena de valor de los recursos pesquero sostenible y equitativa (FAO, 2015; Racioppo *et al.*, 2021; Chauhan *et al.*, 2021).

7.2 Políticas e infraestructura

La implementación de políticas e infraestructura efectivas, como el almacenamiento en cadena de frío, es esencial para minimizar las pérdidas de alimentos, especialmente en regiones con condiciones ambientales difíciles (Al-Khateeb *et al.*, 2021).

7.3 Investigación y estandarización

Se necesitan enfoques estandarizados para cuantificar con precisión la pérdida y el desperdicio de las pesquerías, así como evaluaciones de impacto sólidas de las intervenciones destinadas a reducir estas pérdidas (Kruijssen *et al.*, 2020).

7.4 Educación, colaboración y concientización.

La participación de múltiples partes interesadas y las campañas de concientización son cruciales para compartir conocimientos y experiencias en la prevención de la pérdida y el desperdicio de alimentos, promover prácticas de economía circular y establecer bancos de alimentos para la redistribución de excedentes (Al-Khateeb *et al.*, 2021).



Conclusiones

La transformación de pérdidas y desperdicio de alimentos en las pesquerías y la actividad acuícola, en oportunidades para la economía social y solidaria representa un camino prometedor hacia sistemas alimentarios más sostenibles, justos e inclusivos. Esta transformación requiere un enfoque integral que aborde tanto los aspectos técnicos y económicos como los sociales y culturales asociados a la actividad pesquera.

Las experiencias e iniciativas analizadas demuestran que es posible crear valor a partir de recursos tradicionalmente desperdiciados, generando beneficios múltiples: mejorando la seguridad alimentaria, creando nuevas fuentes de ingreso para comunidades pesqueras, reduciendo la presión sobre los ecosistemas marinos y fortaleciendo modelos económicos centrados en las personas y el planeta. El futuro de la pesca y de la alimentación en México depende de tres cosas principalmente: tener sistemas de manejo sustentables; comunidades pesqueras fuertes y sanas, donde la pesca genere beneficios para quienes llevan años trabajando en el mar y cuidando sus recursos; y consumidores conscientes. Esta visión, que integra sostenibilidad ecológica, fortalecimiento comunitario y consumo responsable, sintetiza los principios fundamentales para transformar el sector pesquero desde una perspectiva de economía social y solidaria. Para avanzar en esta dirección, resulta fundamental fortalecer las sinergias entre políticas públicas, innovación tecnológica, organización comunitaria y educación del consumidor. Iniciativas como la gestión sostenible de la captura incidental, la valorización de subproductos pesqueros, las estrategias nacionales contra el desperdicio alimentario y los programas de fomento de la economía social en el sector marítimo apuntan hacia un futuro donde las pérdidas se conviertan en oportunidades y donde la actividad pesquera contribuya de manera más integral al bienestar humano y a la salud de los ecosistemas marinos.

Si bien la pérdida y el desperdicio de recursos pesqueros presentan desafíos importantes, también ofrecen oportunidades para la innovación y la sostenibilidad dentro de la economía social y solidaria. Al aprovechar los enfoques de biorrefinería, los principios de la economía circular y las innovaciones tecnológicas, las partes interesadas pueden transformar los desechos en recursos valiosos, contribuyendo al crecimiento económico y la protección del medio ambiente.

Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor de las pesquerías puede generar importantes beneficios económicos, ambientales y sociales. Al transformar los desechos en recursos valiosos, mejorar la eficiencia de los recursos y promover prácticas de economía

circular, estos esfuerzos pueden mejorar la sostenibilidad y la resiliencia económica, en particular en las regiones en desarrollo. Abordar las ineficiencias de la cadena de suministro y fomentar la colaboración son fundamentales para lograr estos beneficios.

Referencias

- Al-Khateeb, S., Hussain, A., Lange, S., Almutari, M., Schneider, F. (2021). *Battling Food Losses and Waste in Saudi Arabia: Mobilizing Regional Efforts and Blending Indigenous Knowledge to Address Global Food Security Challenges*. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su13158402>.
- Alfio, V., Manzo, C., Micillo, R. (2021). From Fish Waste to Value: An Overview of the Sustainable Recovery of Omega-3 for Food Supplements. *Molecules*, 26. <https://doi.org/10.3390/molecules26041002>.
- Asche, F., Garlock, T., Anderson, J., Bush, S., Smith, M., Anderson, C., Chu, J., Garrett, K., Lem, A., Lorenzen, K., Oglend, A., Tveterås, S., Vannuccini, S. (2018). Three pillars of sustainability in fisheries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 11221 - 11225. <https://doi.org/10.1073/pnas.1807677115>.
- Banco Mundial. (2020). Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos puede generar grandes beneficios para la seguridad alimentaria de los países y el medio ambiente. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/09/28/cutting-food-loss-and-waste-can-deliver-big-wins-for-countries-food-security-and-environment> (Última consulta: mayo 7, 2025).
- Ciccullo, F., Cagliano, R., Bartezzaghi, G., Perego, A. (2021). Implementing the circular economy paradigm in the agri-food supply chain: The role of food waste prevention technologies. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105114>.
- Coppola, D., Lauritano, C., Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., De Pascale, D. (2021). Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. *Marine Drugs*, 19. <https://doi.org/10.3390/md19020116>.



- Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M., Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126438>.
- Do Q., Ramudhin, A., Colicchia, C., Creazza, A., Li, D. (2021). A systematic review of research on food loss and waste prevention and management for the circular economy. *International Journal of Production Economics*, 239, 108209-108230. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2021.108209>.
- Dudziak, A., Stoma, M., Derkacz, A. (2022). Circular Economy in the Context of Food Losses and Waste. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su141610116>.
- Eayrs, S. (2007). Guía para reducir la captura de fauna incidental (bycatch) en las pesquerías por arrastre de camarón tropical. Edición revisada. Roma, FAO. 2007. 108 p. <https://www.fao.org/4/a1008s/a1008s.pdf> (última consulta: 04 Julio, 2025).
- Environmental Defense Fund (EDF). (2018). Del mar a la mesa: las contribuciones de la pesca al #HambreCero en México. <https://mexico.edf.org/blog/2018/10/16/del-mar-la-mesa-las-contribuciones-de-la-pesca-al-hambrezero-en-mexico> (última consulta: mayo 7, 2025).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/33837264-fd46-49fa-afce-a370050691a2/content> (última consulta: 04 Julio, 2025).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). Soluciones para reducir la pérdida de alimentos y garantizar medios de vida sostenibles para los pescadores. <https://www.fao.org/in-action/bycatch-solutions-latin-america-caribbean/es/> (última consulta: 04 Abril, 2025).
- Freeman, R., Phillipson, J., Gorton, M., Tocco, B. (2023). Social capital and short food supply chains: Evidence from Fisheries Local Action Groups. *Sociologia Ruralis*. <https://doi.org/10.1111/soru.12455>
- Fundación para la Pesca y el Marisqueo (FUNDAMAR). (2024). Yo soy economía social del mar. <https://www.fundamar.org/proyectos-publicaciones/yo-soy-economia-social-del-mar/> (última consulta: Mayo 7, 2025).

- Galindo M. (2024). Sobreexplotación, descartes y desperdicio de productos pesqueros. ENT. <https://ent.cat/es/sobreexplotacio-descarts-i-malbaratament-de-productes-pesquers/> (última consulta: mayo 7, 2025).
- Goodwin L. (2023). Los beneficios globales de reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos. World Resources Institute. <https://es.wri.org/insights/los-beneficios-globales-de-reducir-la-perdida-y-el-desperdicio-de-alimentos> (Última consulta: mayo 7, 2025).
- Goossens, Y., Schmidt, T., Kuntscher, M. (2020). Evaluation of Food Waste Prevention Measures—The Use of Fish Products in the Food Service Sector. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su12166613>.
- Gorter, H., Drabik, D., Just, D., Reynolds, C., Sethi, G. (2020). Analyzing the economics of food loss and waste reductions in a food supply chain. Food Policy, 101953. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101953>.
- ICSAM. (2024). Reducción del desperdicio alimentario: cómo las empresas del sector de la alimentación pueden liderar el cambio. <https://icsam.net/blog/reduccion-del-desperdicio-alimentario-como-las-empresas-del-sector-de-la-alimentacion-pueden-liderar-el-cambio/> (última consulta: mayo 7, 2025).
- Kruijssen, F., Tedesco, I., Ward, A., Pincus, L., Love, D., Thorne-Lyman, A. (2020). Loss and waste in fish value chains: A review of the evidence from low and middle-income countries. Global Food Security, 26:100434. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100434>.
- Makov, T., Shepon, A., Krones, J., Gupta, C., Chertow, M. (2020). Social and environmental analysis of food waste abatement via the peer-to-peer sharing economy. Nature Communications, 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14899-5>.
- Meena, D., Das, B., Muzaddadi, A., Sahoo, A. (2024). Waste to wealth- a transformative perspective in greening the environment with a focus on fisheries and aquaculture: emerging cutting-edge trends. Proceedings of The Zoological Society Of India. <https://doi.org/10.59467/pzsi.2024.23.123>.
- Morone, P., Imbert, E. (2020). Food waste and social acceptance of a circular bioeconomy: the role of stakeholders. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.02.006>.



- Mozumder, M., Uddin, M., Schneider, P., Raiyan, M., Trisha, M., Tahsin, T., Newase, S. (2022). Sustainable Utilization of Fishery Waste in Bangladesh—A Qualitative Study for a Circular Bioeconomy Initiative. *Fishes*. <https://doi.org/10.3390/fishes7020084>.
- Närvänen, E., Mattila, M., Mesiranta, N. (2020). Institutional work in food waste reduction: Start-ups' role in moving towards a circular economy. *Industrial Marketing Management*. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.08.009>.
- Naseem, S., Imam, A., Rayadurga, A., Ray, A., Suman, S. (2023). Trends in fisheries waste utilization: a valuable resource of nutrients and valorized products for the food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2211167>.
- Piras, S., Pancotto, F., Righi, S., Vittuari, M., Setti, M. (2021). Community social capital and status: The social dilemma of food waste. *Ecological Economics*, 183, 106954. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2021.106954>.
- Prokić, D., Stepanov, J., Ćurčić, L., Stojic, N., Pucarević, M. (2022). The role of circular economy in food waste management in fulfilling the United Nations' sustainable development goals. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 15, 51 - 66. <https://doi.org/10.2478/ausal-2022-0005>.
- Racioppo, A., Speranza, B., Campaniello, D., Sinigaglia, M., Corbo, M., Bevilacqua, A. (2021). Fish Loss/Waste and Low-Value Fish Challenges: State of Art, Advances, and Perspectives. *Foods*, 10. <https://doi.org/10.3390/foods10112725>.
- Richards, T., Hamilton, S. (2018). Food waste in the sharing economy. *Food Policy*, 75, 109-123. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2018.01.008>.
- Tamasiga, P., Miri, T., Onyeaka, H., Hart, A. (2022). Food Waste and Circular Economy: Challenges and Opportunities. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14169896>.
- Veolia. 2024. 5 soluciones para aprovechar el desperdicio de alimentos. <https://blog.latamib.veolia.com/es/conoce-el-camino-hacia-la-sostenibilidad-con-la-recuperaci%C3%B3n-de-residuos-org%C3%A1nicos-0> (Última consulta: mayo 7, 2025).
- Vilariño, M., Franco, C., Quarrington, C. (2017). Food loss and Waste Reduction as an Integral Part of a Circular Economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00021>.

Cita

Asencio F. y N.Y. Hernández Saavedra. Transformando Pérdidas y Desperdicio de Alimentos de las Pesquerías y Cultivos Acuícolas en Oportunidades para la Economía Social y Solidaria. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 91-107. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0006>

Sometido: 23 de mayo de 2025

Aceptado: 27 de julio de 2025

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

A look at the biogeochemistry of manganese through *Sargassum*

Una mirada a la biogeoquímica del manganeso a través del sargazo

Paulina Annette Ortega-Flores¹, Elisa Serviere-Zaragoza¹,
Lia Celina Méndez-Rodríguez¹

Resumen

El manganeso es un elemento esencial para la vida, sin él, no sería posible realizar uno de los procesos más importantes en el planeta: la fotosíntesis. Aunque es desconocido para la mayoría de las personas, es un elemento con el que convivimos día a día en actividades rutinarias como el cocinar, ya que se encuentra presente en materiales de uso común como los utensilios de cocina, en las latas de bebidas, entre otros. La transformación y distribución del manganeso a través de las esferas ambientales (agua, suelo, aire y seres vivos), nos invita a conocer su biogeoquímica, es decir su distribución y transformaciones químicas en el ambiente. El manganeso se encuentra principalmente en el océano, en donde tiene un papel relevante para los organismos, entre ellos las macroalgas como el *Sargassum*. A su vez, el sargazo es una pieza clave para la sobrevivencia de numerosas especies de flora y fauna y actúa como un reservorio biológico temporal de este elemento participando e influyendo en su dinámica.

Palabras clave: Macroalgas, Metales, Bioindicadores, Agua marina.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: lmendez04@cibnor.mx Tel. +52 612 123 8484



Abstract

Manganese is an essential element for life; without it, one of the most important processes on the planet—photosynthesis—would not be possible. Although it is unfamiliar to most people, manganese is a part of our daily lives through routine activities such as cooking, as it is present in common materials like kitchen utensils and beverage cans, among others. Its movement and transformation through environmental matrices invite us to explore its biogeochemistry. Manganese is primarily found in the ocean, where it plays a key role for organisms, including macroalgae such as *Sargassum*. This macroalgae is crucial for the survival of numerous plant and animal species, acting as a temporary biological reservoir of this element and participating in and influencing its dynamics.

Key words: Macroalgae, Metals, Bioindicators, Seawater

Introducción

¿Sabías que el manganeso es un elemento esencial para la fabricación de acero y para la vida? El manganeso es un elemento ampliamente utilizado por los seres humanos, debido a que presenta gran capacidad para eliminar el óxido de superficies metálicas, por lo que se le considera un “desoxidante”. Además, ayuda a prevenir la corrosión y aumenta la resistencia del acero a la abrasión aumentando la capacidad de este material para endurecerse. ¿Sabías qué esta propiedad también es conocida como “templabilidad”? Pero el manganeso no sólo se utiliza con acero, de hecho se generan mezclas interesantes con otros metales que tienen aplicaciones para nuestro día a día. Por ejemplo, se adicionan al aluminio para mejorar su resistencia a la corrosión. Las aleaciones de aluminio-manganeso y de aluminio-manganeso-magnesio tienen aplicaciones en áreas como la fabricación de utensilios de cocina, techos, radiadores de automóviles, transporte y, más comúnmente, para la fabricación de latas para bebidas (Fig. 1).



Figura 1. Usos y aplicaciones del manganeso en la vida diaria.
Fuente: Elaboración propia (Paulina Annette Ortega-Flores).

Antes de usarse en la producción de acero, el manganeso fue utilizado por los egipcios para conferir al vidrio un color violeta, como el de la piedra preciosa llamada amatista. El manganeso además de la gran importancia que tiene en el día a día de las personas, también desempeña un papel fundamental para la vida en el planeta Tierra y en los océanos. Por lo que a continuación, profundizaremos en analizar su presencia en la Tierra, su importancia y papel como micronutriente esencial para la vida de los organismos marinos y el ciclo de nutrientes en el mar, específicamente y a través de la mirada del sargazo, una macroalga marina.

Primero, empecemos por lo más importante ¿qué es el manganeso y su biogeoquímica?

El manganeso es un elemento metálico que principalmente y de manera natural se encuentra unido a otros elementos. De hecho, solo se encuentra en un estado puro en los meteoritos (Lugo-López, 2017). En la tabla periódica, este elemento aparece dentro de los metales de transición y se representa con el símbolo Mn. Lo interesante es que puede cambiar fácilmente de forma química gracias a su capacidad de oxidarse y reducirse, una cualidad que lo hace muy dinámico en la naturaleza y fundamental en su ciclo biogeoquímico (Fig. 2A). El manganeso (Mn) puede encontrarse

en todas las esferas ambientales tales como la corteza terrestre (litosfera), agua (hidrosfera), aire (atmósfera) y en los seres vivos (biosfera), aunque el mayor reservorio de este elemento son los depósitos submarinos en el océano, en donde se encuentra en forma de óxidos de manganeso ($MnOx$), denominados nódulos de manganeso (Fig. 2B).

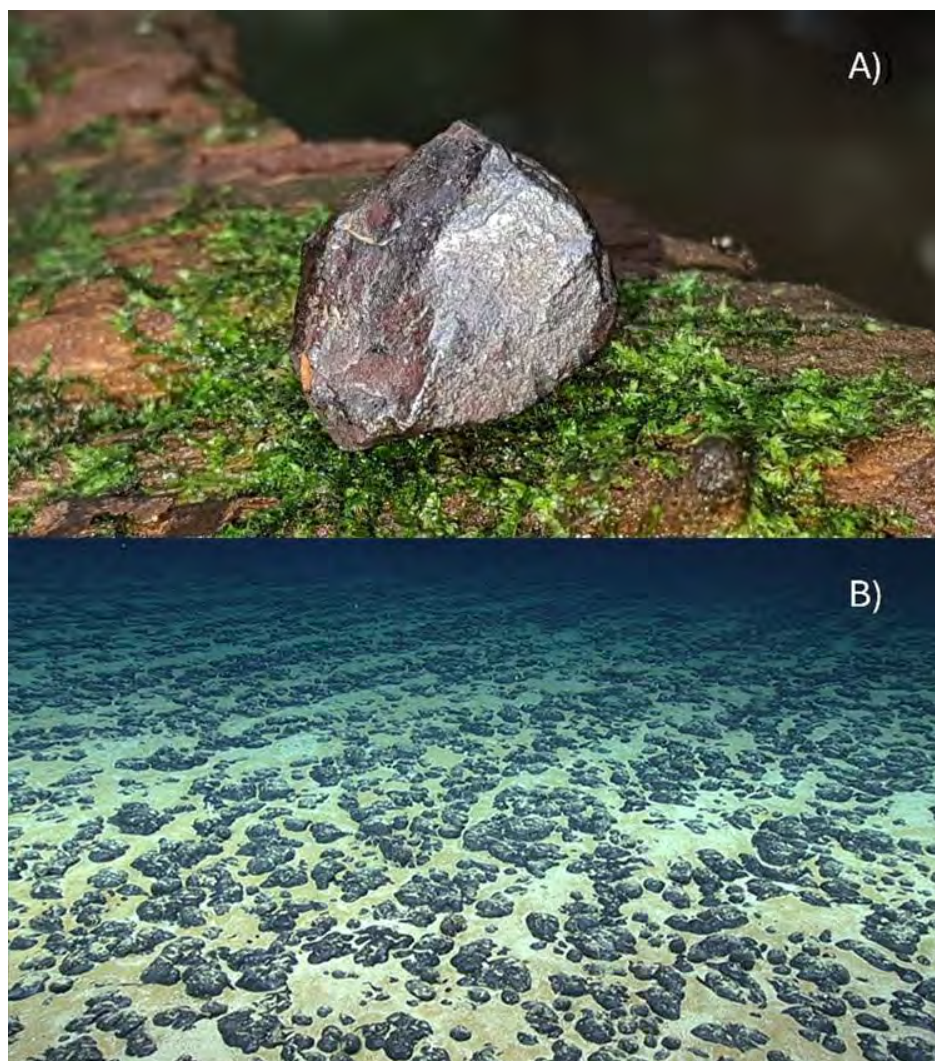


Figura 2. A) Imagen ilustrativa del manganeso. B) Imagen ilustrativa de nódulos de manganeso en el océano. Fuente:

https://pixabay.com/get/g5d197b4bec225375611835df8c210923464874f5ee3e398fe879b3a21cced636c7d0e7611a80b2a5b6acad94f2c73eb9af326c38b8b0f0d15e9f906fb7589507f3dce7525af17b16f7e77467eeee6eb7_1280.jpg?attachment=

Imagen de la NOAA Office of Ocean Exploration and Research, tomada en 2019 por la Southeastern U.S. Deep-sea Exploration, <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1907/logs/nov7/nov7.html>

Por las razones previamente expuestas, es muy relevante analizar la biogeoquímica de este elemento en el océano. Pero, ¿A qué nos referimos cuando hablamos de procesos biogeoquímicos de un elemento?

La biogeoquímica es la ciencia que estudia cómo los elementos químicos, como el manganeso, circulan y se transforman en los seres vivos y el medio ambiente, así como los procesos químicos que ocurren cuando interactúan y se intercambian en estos (Vallero, 2025). El término “ciclos biogeoquímicos” generalmente está vinculado con los procesos naturales que siguen elementos esenciales y críticos para la vida, como son: el carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y manganeso (Mn). Sin embargo, no son los únicos ciclos existentes, también los elementos como el hierro (Fe), oxígeno (O) y el silicio (Si) tienen ciclos considerados de relevancia para los ecosistemas y los seres vivos. Por lo tanto, la biogeoquímica es clave para entender la interacción entre la vida, la geología de la tierra y el impacto ambiental que tenemos como seres vivos que habitamos el planeta. Particularmente, el ciclo biogeoquímico del manganeso está fuertemente influenciado por procesos químicos, biológicos, geológicos y antropogénicos (actividades humanas). La movilización y transformación química y física que realiza el manganeso a través de las esferas ambientales, comienza principalmente con:

- 1) La erosión de rocas en la corteza terrestre, las cuales están enriquecidas con manganeso.
- 2) Liberación del Mn al ambiente a través de la meteorización (proceso en el cual las rocas se desintegran derivado de fenómenos naturales como la lluvia, fricción y agentes atmosféricos).
- 3) El Mn liberado de la meteorización puede llegar a los suelos y cuerpos de agua y llegar al mar a través de los ríos que desembocan en la costa.
- 4) En el ambiente marino el Mn puede ser desplazado a distintos sitios junto con otros elementos a través de las corrientes.
- 5) El Mn también ingresa al ambiente a través de emisiones hidrotermales en el fondo marino y a procesos biológicos como la actividad microbiana, acumulación en organismos y su subsecuente descomposición (Fig. 3).

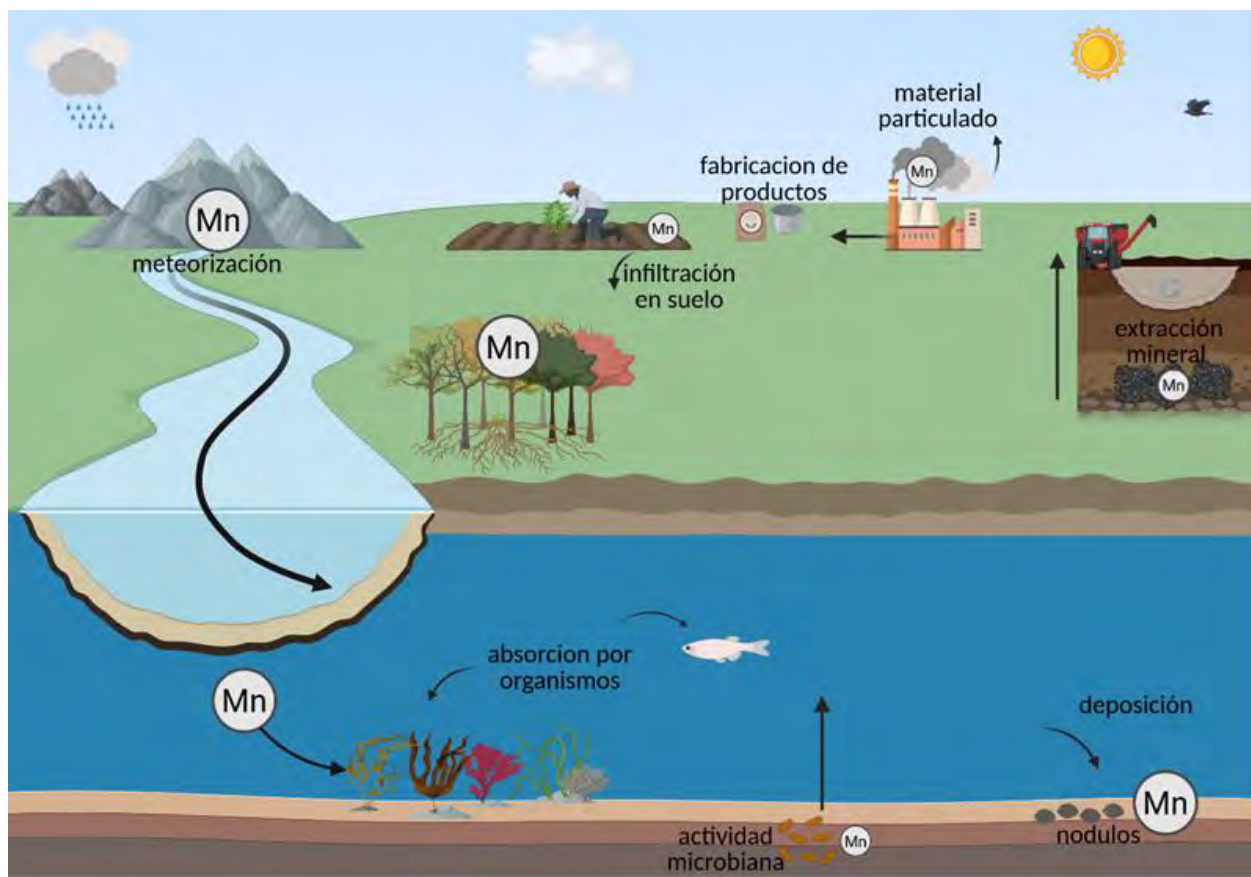


Figura 3. Ilustración representativa del ciclo biogeoquímico del manganeso
Fuente: Elaboración propia (Paulina Annette Ortega-Flores)

¿Cuál es el papel del manganeso en el océano?

Como se mencionó anteriormente, el manganeso siempre se encuentra acompañado de otros elementos como el oxígeno (O), el azufre (S) y el cloro (Cl), lo que le permite formar compuestos como los óxidos de manganeso (MnO_x), sulfuros de manganeso ($Mn-S$) y cloruros de manganeso ($Mn-Cl$), respectivamente, los cuales son clave en procesos biogeoquímicos de este elemento en el océano. En el ambiente marino, el manganeso se encuentra principalmente en dos formas: una soluble (Mn^{2+}) y otra insoluble (óxidos e hidróxidos de Mn) y su transformación depende básicamente de la disponibilidad de oxígeno en el mar y de la actividad microbiana (Shaked *et al.*, 2025). En el escenario de poca disponibilidad de oxígeno como en los sedimentos y las zonas profundas del océano, el manganeso se disuelve en el agua marina en forma reducida (Mn^{2+}). En cambio, cuando la disponibilidad de oxígeno no es limitante, el manganeso es transformado a formas insolubles por microorganismos como las bacterias oxidantes del género *Leptothrix*, *Pseudomonas* y *Bacillus*. El resultado es un precipitado que se deposita nuevamente en los sedimentos, o se adhiere a partículas en suspensión en el mar (Burdige, 1993). De esta manera, el manganeso está en

constante reciclaje entre la columna de agua y el fondo marino. Sin embargo, hay que considerar que este elemento es también absorbido por la mayoría de organismos, ya que, es un micronutriente esencial en muchos procesos celulares. Esto quiere decir que, aunque se requiere en pequeñas cantidades, resulta indispensable para funciones vitales de los seres vivos.

El papel del manganeso en el ambiente marino es entonces crucial para la dinámica de los micronutrientes en el océano; por ejemplo, los óxidos de manganeso (MnO) pueden actuar como transportadores de electrones, influyendo en la química del agua y en la disponibilidad de nutrientes para diversos organismos. Los sulfuros de manganeso (Mn-S) que se pueden formar en los sedimentos marinos y en condiciones de baja presencia de oxígeno (anóxicas), influyen en el ciclo biogeoquímico del manganeso (principalmente en zonas con alta actividad de materia orgánica y procesos de reducción de sulfato). Mientras que, los cloruros de manganeso (Mn-Cl) y en especial el cloruro de manganeso (II) (MnCl₂) que es el más relevante hablando en términos biogeoquímicos, ya que puede encontrarse en soluciones marinas y participar en reacciones de oxidación-reducción (redox) en el océano, afectando la disponibilidad de manganeso para los organismos marinos. Por lo tanto, el manganeso se modifica, reacciona y nos da pistas de cambios que ocurren en el océano.

Analicemos el manganeso a través del *Sargassum*

De los recursos marinos más abundantes, diversos y con aplicaciones en muchos sectores se encuentran las algas; dentro de estas, el protagonista, narrador y sujeto de estudio en esta historia es el alga café del género *Sargassum*.

El género *Sargassum*, de aquí en adelante referido como sargazo, incluye un grupo de algas pardas o cafés que comprende más de 300 especies (Fig. 4). En general, estas algas pardas viven fijas o “ancladas” al fondo marino, es decir, son especies bentónicas. Sin embargo, hay especies que se desarrollan flotando libremente en la columna de agua en mar abierto: las especies holopelágicas. A diferencia de las especies bentónicas, solo se han identificado dos especies holopelágicas: *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans*. Son precisamente por estas especies holopelágicas por las que el sargazo se ha dado a conocer y ha tomado relevancia, ya que protagonizan los fenómenos de proliferación y acumulación de grandes cantidades de algas a la costa, denominados “arribazones masivos de sargazo” que se han presentado desde el 2011 en el Atlántico Tropical y el Mar Caribe. En México se han presentado en las costas de los estados de Yucatán y Quintana Roo. Estos eventos ambientales han puesto al sargazo en el foco del reflector dándolo a conocer por las consecuencias



socioeconómicas y ecológicas que ha acarreado a la región. Sin embargo, estos fenómenos de arribazón están conformados solo por estas dos especies holopelágicas de sargazo, además de algunas algas de otros géneros.



Figura 4. Ilustración de sargazo (*Sargassum* sp.). Fuente: Elaboración propia (B. Castillo-Cruz)

Pero el sargazo no solo es sinónimo de problema ambiental. Tiene una gran importancia ecológica ya que sirve como hábitat flotante y zona de cría para numerosas especies marinas, incluyendo peces de importancia comercial como el atún y el marlín, así como especies en peligro de extinción como las tortugas marinas. También participa en el ciclo de nutrientes y puede ayudar a mitigar el cambio climático mediante el secuestro de carbono.

El sargazo también es un recurso interesante por su composición química, ya que presenta características como la capacidad de acumular algunos elementos traza. Por ejemplo, los científicos han reportado que algunas especies de sargazo acumulan metales pesados como cadmio y plomo y también el metaloide arsénico en concentraciones elevadas (Mazariegos-Villareal *et al.*, 2024, Ortega-Flores *et al.*, 2023). Cabe mencionar que dentro de los elementos que el sargazo puede acumular se encuentra el manganeso. ¿Cuál es la función de este elemento en el sargazo? El manganeso cumple el rol de un micronutriente esencial, ya que participa en diversas funciones fisiológicas cruciales para la mayoría de los organismos, pero sobre todo para organismos fotosintéticos, es decir, las plantas y algas.

En los organismos que realizan fotosíntesis, tal como el sargazo, el manganeso forma parte del complejo de evolución del oxígeno (OEC, por sus siglas en inglés), una estructura altamente especializada dentro del fotosistema II, que se encuentra en los tilacoides de los cloroplastos. Este complejo es responsable de realizar una de las reacciones más fundamentales del planeta: la fotólisis del agua, es decir, la ruptura de la molécula de H₂O en oxígeno, protones y electrones. Sin manganeso, esta reacción no puede ocurrir, y por tanto la fotosíntesis se detiene.

Pero entonces, ¿Cómo se relacionan el manganeso y el sargazo?

Al absorber manganeso del agua marina y utilizarlo en procesos vitales como la fotosíntesis y la defensa antioxidante, el sargazo actúa como un reservorio biológico temporal de este elemento. Cuando el sargazo muere y se descompone, ya sea en el océano o tras arribar en las costas, libera nuevamente el manganeso al medio ambiente, en formas que pueden ser reutilizadas por otros organismos o participar en reacciones geoquímicas. De este modo, el sargazo contribuye activamente a la redistribución y reciclaje del manganeso en los ecosistemas costeros y pelágicos, ya que no solo depende del manganeso, sino que también modula su ciclo biogeoquímico en el océano, convirtiéndose en un eslabón clave entre los procesos biológicos y los químicos del entorno marino.

Conclusiones

El manganeso tiene importantes funciones ecológicas como la que desempeña a través del sargazo participando en la fisiología de esta alga, la cual, a su vez, desempeña un papel fundamental en el ciclo de vida de diversas formas de vida marina.

Agradecimientos

Al proyecto CBF2023-2024-4548 “Impacto de las condiciones medioambientales en la calidad nutricional, inocuidad y actividad antioxidante del alga parda *Sargassum horridum*”. Al proyecto A1-S-26700 y a Barbara Victoria Castillo Cruz por la elaboración de la ilustración representativa del sargazo (Fig. 4.)



Literatura citada

- Burdige D. 1993. *The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments*. Earth-Science Reviews. 35, 249-284. DOI: 10.1016/0012-8252(93)90040-E.
- Damián-Salinas, D., D. Rivera-Rodríguez, L. Lizárraga-Mendiola, G. Vázquez Rodríguez. 2021. *Andanzas de un elemento mágico: El ciclo biogeoquímico del manganeso*. En: CIERMMI Women in Science. T XVI: Biology, Chemistry and Life Sciences Publisher: ECORFAN. DOI: 10.35429/H.2021.14.39.58
- Mazariegos-Villarreal, A., E. Serviere-Zaragoza, J. M. López-Vivas, Y. Freile-Pelegrín, H. Reyes-Bonilla, K. León-Cisneros, J. Wurl, L. C. Méndez-Rodríguez. 2024. *Relationship between arsenic content and macroelements, microelements, and polysaccharides in Sargassum horridum (Ochrophyta, Phaeophyceae) in the Gulf of California, Mexico*. Aquatic Botany. 191, 103730. DOI: 10.1016/j.aquabot.2023.103730
- Ortega-Flores, P.A., E. Serviere-Zaragoza, J. A. De Anda-Montañez, Y. Freile-Pelegrín, D. Robledo, L. C. Méndez-Rodríguez. 2023. *Trace elements in pelagic Sargassum species in the Mexican Caribbean: Identification of key variables affecting arsenic accumulation in S. fluitans*. Science of The Total Environment. 806, 150657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150657>
- Shaked Y., B. S. Twining, T. J. Browning, C. Koedooder, C. F. Kranzler. 2025. *Trace metal biogeochemistry in the ocean: From chemical principles to biological complexity*. 371-414. En: Anbar A., Weis D. (Eds)., Treatise on Geochemistry (Third Edition). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-323-99762-1.00115-7
- Tsukidate, J. 1992. *Ecology of Sargassum spp. and Sargassum forest formation*. NOAA technical report NMFS, 106, 63-72.
- Vallero, D. 2025. *Biogeochemistry*. 61-99. En: Fundamentals of Water Pollution. Elsevier. DOI:10.1016/B978-0-443-28987-3.00004-7.

Cita

Ortega-Flores, P.A., E. Serviere-Zaragoza y L.C. Méndez-Rodríguez. 2025. Una mirada a la biogeoquímica del manganeso a través del sargazo. Vol. 11 (2): 109-119. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0007>.

Sometido: 27 de mayo de 2025

Aceptado: 05 de octubre de 2025

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrasco

Pen Shells: From the Sea to Your Table

Callos de hacha: del mar a tu mesa

M. Magali Gómez Valdez¹ y Lucía Ocampo¹

Resumen

Los callos de hacha son moluscos bivalvos que permanecen enterrados en los fondos marinos y desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas bentónicos. En México, las regulaciones de su pesca se encuentran en la Carta Nacional Pesquera. Los principales estados donde se pescan son Baja California, Baja California Sur y Sonora. Aunque actualmente se aplican las mismas medidas de manejo para cuatro especies, estudios recientes indican que al menos dos de ellas presentan notables diferencias fisiológicas. Por ello, además de continuar investigando todas las especies que conforman este recurso, es esencial considerar dichas variaciones para implementar estrategias de conservación más precisas y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Palabras clave: Callo de hacha, *Atrina maura*, *Pinna rugosa*, Pesca y acuicultura.

Abstract

Pen shells are bivalve mollusks that live buried in the seabed and play a fundamental role in benthic ecosystems. In Mexico, their fishing regulations are in the National Fisheries Charter. Their fishing activities are concentrated in Baja California, Baja California Sur, and Sonora. Although the same management strategies are currently applied to four species, recent studies indicate that at least two of them exhibit significant physiological differences. Therefore, in addition to researching all species that make up this resource, it is essential to consider these variations to implement better strategies and ensure their long-term sustainability.

Keywords: Pen shells, *Atrina maura*, *Pinna rugosa*, fishing and aquaculture.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: locampo@cibnor.mx



¿Alguna vez has probado un aguachile de callo de hacha? Si eres de la región noroeste de México, es altamente probable que tu respuesta sea afirmativa. Pero ¿sabes qué es y de dónde proviene el ingrediente principal de este platillo?

Antecedentes

Los callos de hacha pertenecen a un grupo muy particular de almejas (Familia Pinnidae, las cuales forman parte del grupo de moluscos bivalvos). Su forma es característica: triangular, con un extremo ancho y otro angosto, similar a un abanico alargado, con colores entre café oscuro y ámbar. Sus conchas son frágiles y delgadas, (aunque puede variar según la especie) y en la parte exterior tienen espinas. Algunas especies de callos de hacha (Como Nacra o *Pinna nobilis*) pueden llegar a medir hasta 120 cm de largo (Zavodnik *et al.*, 1991), pero lo más común en México es que tengan entre 30 cm y 50 cm (Fig. 1), dependiendo de la especie y la región (Ahumada-Sempoal *et al.*, 2002).



Figura 1. Concha de *Pinna rugosa* para ilustrar la típica forma de las almejas llamadas callos de hacha. El extremo más angosto, es la parte anterior; la parte más ancha es la posterior. Imagen de Magali Gómez.

Son moluscos dominantes en comunidades bentónicas de fondos blandos, en ambientes costeros, poco profundos, en donde forman densos bancos de tamaño y duración variable. Viven en el fondo del mar, en zonas costeras de baja energía, especialmente en áreas de manglar o pastos marinos, con suelos arenosos, limosos o arcillosos. Se encuentran enterrados en la arena con la parte más angosta hacia abajo y se sujetan con unos pelillos duros y resistentes llamados biso. Sólo una pequeña porción de la parte más ancha de su concha se puede observar (Fig. 2).



Figura 2. Parte expuesta de la concha de callos de hacha, visible en el fondo del mar. Imagen tomada de Inaturalist.com.

Internamente, tienen dos músculos aductores que les sirven para abrir y cerrar sus conchas, uno de ellos es pequeño y el otro grande. Este último es el que se conoce como callo y se consume en diferentes presentaciones, en ceviche, aguachile o incluso solos, generalmente crudos o ligeramente cocidos. El callo es altamente apreciado en el mercado nacional e internacional. Su costo en México puede variar según la región y la especie (siendo más costoso el músculo de *Atrina maura* o callo media luna en comparación con el de *Pinna rugosa* o callo redondo) pero puede ir desde \$600 hasta los \$1500 pesos mexicanos por kilo de producto fresco, sin preparar (Fig 3).



Figura 3. Vista de los órganos internos de un callo de hacha, en la parte superior central de color claro y de mayor tamaño se observa el músculo que se come. Imagen de Magali Gómez.

Los callos de hacha tienen funciones ecológicas importantes, mejoran la calidad del agua mediante filtración, brindan hábitat a otras especies marinas, reciclan nutrientes y funcionan como indicadores de la salud ambiental por su sensibilidad a la contaminación. Su reproducción puede variar dependiendo de la especie y la localidad, pero en todos los casos este proceso está íntimamente relacionado con las condiciones de su ambiente, sobre todo con la temperatura. Su fecundación es externa: las células sexuales se liberan a la columna de agua y ahí se fecundan, después tienen un desarrollo larval que puede durar entre 15 y 25 días, teniendo varias fases antes de asentarse en el fondo marino.

Algunas especies como *Pinna nobilis* del mar Mediterráneo, están protegidas por ley debido a la disminución de sus poblaciones, llegando a estar en peligro crítico de extinción por factores como la colección de sus conchas como ornamento, la destrucción de sus huevos y larvas por contaminación, la modificación de sus hábitats e infecciones por microorganismos (Darriba, 2017; Catanese *et al.*, 2018).

El recurso Callo de Hacha En México.

La Carta Nacional Pesquera (documento oficial que establece las acciones para la regulación de la pesca en el país) contempla a cuatro especies dentro del “Recurso Callo de hacha”: *Atrina maura* (*hacha china*), *Atrina oldroydii* (*hacha lisa*), *Atrina tuberculosa* (*hacha botijona*) y *Pinna rugosa* (*hacha larga*). La captura del recurso hacha se lleva a cabo en la zona noroeste del país, particularmente en Baja California, Baja California Sur y Sonora y las especies más abundantes son *Atrina maura* y *Pinna rugosa*. Para su extracción se utilizan embarcaciones menores con motor fuera de borda y compresores de aire para el buceo tipo hooka. Generalmente tres pescadores se encargan de extraerlos, uno es el buzo, otro es el cabo de vida y el último es el encargado del motor. La recolecta se hace a mano, con un gancho y una bolsa de malla para ir guardando a los organismos capturados (Fig. 4).



Figura 4. Representación del método de captura del recurso callo de hacha. Imagen tomada de la guía práctica del buceo seguro con HOOKAH de la ONU.

Este recurso tiene desafíos importantes como la sobreexplotación por su extracción legal, ilegal y no reportada tanto por su músculo como por su concha. Mortandades masivas causadas por especies invasoras (Moreno-Dávila *et al.*, 2021), entre otras. La falta de monitoreo efectivo, repoblamiento y



trazabilidad agrava el problema, afectando tanto al ecosistema como a las comunidades que dependen de él. Actualmente, de manera oficial, los bancos de callos de hacha están aprovechados a su máximo sustentable (DOF, 2021). Es por ello que se deben tener algunas reglas para poder cuidar a sus poblaciones. Una de ellas es que sólo se deben pescar individuos mayores a la talla mínima de captura (tamaño mínimo que deben tener los organismos antes de ser capturado), con la finalidad que se hayan reproducido al menos una vez dejando progenie (hijos que formarán parte de las siguientes generaciones). También, la actividad pesquera tiene una veda reproductiva (periodo de prohibición de pesca) para proteger a los animales en los meses donde se presentan la mayor actividad. Los periodos de veda varían dependiendo de la zona de aprovechamiento (ya que no todas las especies se reproducen, crecen o migran de la misma forma en todas las regiones) y se publican en el Diario Oficial de la Federación. Además, existe una cuota de captura, que se refiere a la cantidad máxima de individuos que pueden pescarse, esta cantidad es variable por especie, zona geográfica y biomasa disponible (la cual se determina mediante monitoreos poblacionales del IMIPAS). El límite se define al 25 % del tamaño poblacional mayor a la talla mínima de captura y se ajusta según el estado del recurso: si la biomasa está en niveles sustentables, la cuota es alta; si disminuye, se reduce para evitar la sobreexplotación y asegurar la sostenibilidad del ecosistema. Hasta la última actualización de la carta nacional pesquera, el mayor número de permisos y concesiones de pesca comercial autorizadas corresponde a Baja California Sur con 210 embarcaciones (DOF, 2021). Se recomienda no incrementar el esfuerzo pesquero, además en caso de que alguna población se encuentre deteriorada, las autoridades deben emitir recomendaciones y estrategias para su recuperación (DOF, 2021).

Cultivo de Callo de Hacha

Por todo lo anterior se tiene gran interés en su cultivo, y se han desarrollado técnicas de cultivo en sistemas flotantes y de fondo. El proceso dura entre 13 y 16 meses, las semillas, (callos de hacha menores a 2 cm), crecen en suspensión hasta alcanzar entre 5 y 6 cm, momento en que se siembran en el fondo marino. La densidad y el manejo varían en cada fase para optimizar el crecimiento y minimizar la mortalidad. Su cultivo sigue considerándose como experimental por lo que es importante conocer las necesidades del callo de hacha, para ello hay que estudiarlo minuciosamente y a través del tiempo (DOF, 2023). Esta actividad enfrenta desafíos importantes tales como la limitada disponibilidad de semilla, sensibilidad a cambios ambientales, alta mortalidad en la etapa de engorda, riesgos sanitarios sin protocolos establecidos, falta de infraestructura y capacitación técnica, y costos elevados con retorno económico incierto. Estas

problemáticas dificultan su escalabilidad y requieren soluciones integrales que combinen investigación científica, capacitación comunitaria y mejoras en bioseguridad y manejo (Gastélum-Nava, 2019; Góngora-Gómez *et al.*, 2016).

Avances en su conocimiento

En los últimos años se ha ampliado el conocimiento de algunas especies de la región Noroeste de México, sobre todo de *A. maura* y *P. rugosa* (Aranceta-Garza y Torrejón-Magallanes, 2024; Arce-Acosta *et al.*, 2019; Domínguez-Beltrán *et al.*, 2025; Gómez-Valdez *et al.*, 2021; Gómez-Valdez *et al.*, 2024; Moreno-Dávila *et al.*, 2021).

A partir de dicha generación de conocimiento se sabe que *A. maura* es mayormente gonocórica, es decir, que los individuos son hembras o son machos, y se ha observado actividad reproductiva durante todo el año; mientras que *P. rugosa* es hermafrodita funcional, lo cual significa que un individuo puede tener células sexuales de machos y de hembras al mismo tiempo, y en los meses fríos (noviembre a febrero) no tiene actividad reproductiva mientras que en los meses más cálidos se reproduce activamente (Fig. 5).

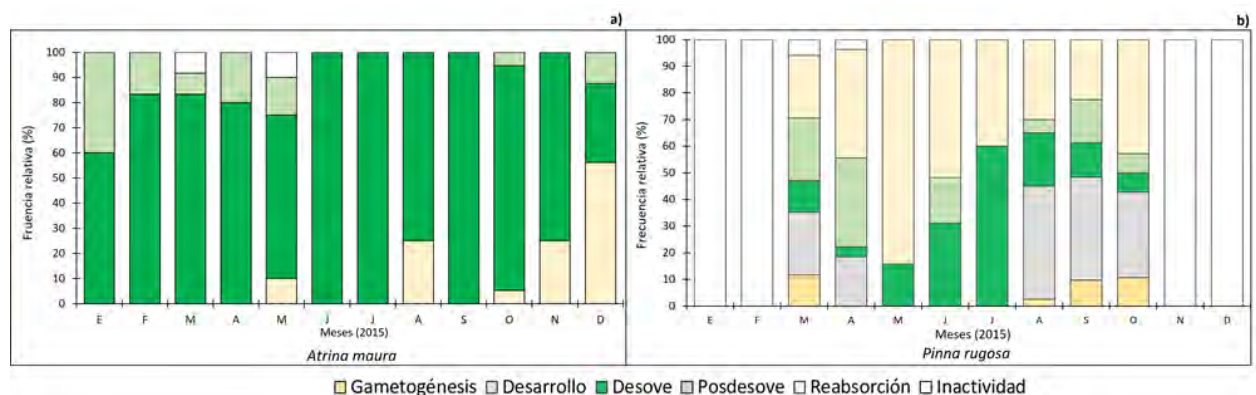


Figura 5. Comparativa de un ciclo reproductivo anual de *A. maura* (a) y *P. rugosa* (b) en Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, 2015. Las zonas verdes corresponden a los periodos en los cuales los organismos liberan sus células sexuales al medio para reproducirse, las zonas blancas corresponden cuando no tienen actividad reproductiva. Imagen modificada de Gómez-Valdez, 2019.

Por otro lado, se ha reportado que estas dos especies tienen diferentes tallas de primera madurez, *A. maura* de 14.6 cm y *P. rugosa* de 18 cm (Gómez-Valdez, 2019; Gómez-Valdez *et al.*, 2021; Gómez-Valdez *et al.*, 2024). Esta táctica de manejo del recurso hacha podría mejorarse, sobre todo para *P. rugosa* pues actualmente pueden extraerse individuos de esta especie a los 15 cm.



En cuanto las variables ambientales, *A. maura* parece ser más sensible a las altas temperaturas y a la baja disponibilidad de alimento, mientras que *P. rugosa* parece soportar mejor condiciones ambientales desfavorables, lo cual puede estar relacionado a su periodo de reposo reproductivo (Gómez-Valdez, 2019).

También se han reportado algunas relaciones ecológicas tales como la epibiosis (un organismo vive encima de otro) de *Distaplia* sp. con *A. maura* (Moreno-Dávila et al., 2021). Asimismo, *A. maura* es hospedero intermediario de *Echinocephalus pseudouncinatus* (un gusano nemátodo que tiene como hospedero final rayas y tiburones) con mayor intensidad que los que parasitan a *P. rugosa* (Gómez-Valdez, 2019; Gómez-Valdez et al., 2019). A su vez, *P. rugosa* tiene una relación simbiótica con camarones del género *Pontonia*: los camarones encuentran refugio dentro de los callos de hacha y se alimentan de los restos de alimento atrapado (Vélez-Arellano et al., 2017). Esta relación tan específica solamente ocurre en *P. rugosa* a pesar de que ambas especies de callo de hacha habitan en las mismas zonas en el estado de Baja California Sur y pueden deberse a que cada especie tiene características fisicoquímicas distintas en sus tejidos, pero además por sus diferencias de tamaño y de forma (*P. rugosa* es más grande y tiene más espinas en su concha que *A. maura*) (Mora-Mayo, 2014).

Conclusiones

Disfrutar un platillo de callo de hacha (Fig. 6) no solo implica deleitarse con su exquisito sabor y delicada textura; también representa una oportunidad para reconocer y valorar la cadena de esfuerzos que permite su llegada a la mesa. Como consumidores, deberíamos ser conscientes, asegurarnos de que los callos de hacha provengan de pesca legal y responsable, lo que garantiza que los ejemplares fueron extraídos en tallas adecuadas, respetando sus ciclos biológicos.



Figura 6. Platillo de aguachile de callo de hacha. Imagen de Grupo Dimento.



Perspectivas

Para conservar al callo de hacha como parte de nuestra dieta sin comprometer el equilibrio ecológico, es esencial avanzar en el desarrollo de técnicas de cultivo eficientes y sostenibles. Un manejo sensible a las condiciones ambientales y al impacto del cambio climático, permitirá responder a los desafíos que enfrenta esta especie, cuyos procesos fisiológicos están estrechamente ligados a variables como la temperatura.

El monitoreo a largo plazo será clave para evaluar la efectividad de las regulaciones pesqueras y ajustar estrategias de manejo con base en evidencia científica. Además, fomentar la sensibilización entre pescadores, comerciantes, consumidores, investigadores y tomadores de decisiones para tener una cultura de aprovechamiento responsable. Solo así podremos asegurar que el callo de hacha continúe llegando del mar a nuestra mesa.

Referencias

- Ahumada-Sempoal M. A., S. J. Serrano-Guzmán y N. Ruiz-García. 2002. Abundancia, estructura poblacional y crecimiento de *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) en una laguna costera tropical del Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 50 (3–4): 1091–1100.
- Aranceta-Garza F. y J. Torrejón-Magallanes. 2024. Natural mortality-at-age estimations for the benthonic commercial pen shell *Atrina maura*. *Regional Studies in Marine Science* 73: 103481.
- Arce-Acosta M., U. J. Cota, J. L. Gutiérrez-González y V. Vargas-López. 2019. Relación longitud-peso y factor de condición del hacha china *Atrina maura* en Laguna Ojo de Liebre, BCS, México. *Ciencia Pesquera* 27: 27-31.
- Darriba, S. 2017. First haplosporidan parasite reported infecting a member of the Superfamily Pinnoidea (*Pinna nobilis*) during a mortality event in Alicante (Spain, Western Mediterranean), *Journal of Invertebrate Pathology* 148:14-19.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2021. Carta Nacional Pesquera. Instituto Nacional de la Pesca, México.

- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2023. Carta Nacional Acuícola. Instituto Nacional de la Pesca, México.
- Domínguez-Beltrán, R. V., N. Y. Hernández-Saavedra, M. P. Hernández-Cortés, C. Rivera-Pérez. 2025. Resilient mantle, vulnerable shell: Ocean acidification's impact on juvenile pen shell *Atrina maura*. *Regional studies in Marine Science* 83: 104082.
- Catanese G., A. Grau, J. M. Valencia, J. R. García-March, M. Vázquez-Luis, E. Álvarez, S. Deudero, S. Darriba, M. J. Carballal y A. Villalba. 2018. *Haplosporidium pinnae* sp. nov., a haplosporidan parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea, *Journal of Invertebrate Pathology* 157: 9-24.
- Gastélum-Nava E. 2019. Cultivo de callo de hacha en la Región de las Grandes Islas, Golfo de California, México. *Comunidad y Biodiversidad A.C.* 17 pp.
- Gómez-Valdez, M.M. 2019. Características de la biología reproductiva de dos especies de callo de hacha de importancia comercial en Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur: *Atrina maura* y *Pinna rugosa*. Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México. 107 pp.
- Gómez-Valdez M. M., L. Carvalho-Saucedo, L. Ocampo y A. Cruz-Villacorta. 2019. First record of the nematode *Echinocephalus pseudouncinatus* in an edible, commercial host, the pen shell *Atrina maura*. *Journal of Invertebrate Pathology* 167: 107249.
- Gómez-Valdez M. M., L. Carvalho-Saucedo, L. Ocampo y J. L. Gutiérrez-González. 2021. Reproductive activity and seasonal variability in the biochemical composition of a pen shell, *Atrina maura*. *Marine Ecology Progress Series* 663: 99–113.
- Gómez-Valdez M. M., L. Carvalho-Saucedo, L. Ocampo, J. L. Gutiérrez-González y D. B. Lluch-Cota. 2024. Hermaphroditism and the impact of environmental variables on atresia prevalence in the pen Shell *Pinna rugosa*. *Marine Ecology Progress Series* 726: 71–83.
- Góngora-Gómez, A. M., M. García-Ulloa, J. A. Hernández-Sepúlveda, A. L. Domínguez-Orozco y J. C. Sainz-Hernández. 2016. Crecimiento y supervivencia del callo de hacha *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) cultivado en la costa sureste del Golfo de California, México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 51(3), 665-673. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572016000300017>.



- Mora-Mayo, I. J. 2014. Evaluación de características químicas, físicas y sensoriales relacionadas con la calidad alimenticia de los callos de hacha *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835) y *Atrina maura* (Sowerby, 1835). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. México. 62 pp.
- Moreno-Dávila, B., J. Gómez-Gutiérrez, T. Alcoverro, S. Ramírez-Luna, C. Sánchez, E. Balart y L. Huato-Soberanis. 2021. Mass mortality of pen shell *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) due to abrupt population increase of tunicate (*Distaplia* sp.) in a subtropical bay Mexico. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 260: 107493.
- Vélez-Arellano N., S. P. Medina-Gómez, J. D. Magaña, M. A. Camacho-Mondragón, C. H. Rábago-Quiroz. 2022. *Pontonia margarita* as a symbiont of *Pinna rugosa* on both coasts of the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Crustacean Biology* 42(1): ruab086.
- Zavodnik, D., M. Hrs-Brenko y M. Legac. 1991. Synopsis of the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic Sea. In C.F. Boudouresque, M. Avon, y V. Gravez (Eds.), *Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée* (pp. 169–178). GIS Posidonie.

Cita

Gómez Valdez M.M. y L. Ocampo. Callos de hacha: del mar a tu mesa. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2025. Vol. 11 (2): 121-132. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0008>

Sometido: mayo de 2025

Aceptado: 15 de agosto de 2025

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Jellyfish in the face of climate change: reproduction, blooms, and utilization

Medusas ante el cambio climático: reproducción, blooms y aprovechamiento

Mónica Reza¹ *

Resumen

Las medusas son organismos que a través del tiempo (más de 600 millones de años) han sobrevivido como grupo taxonómico, venciendo los desafíos geológico-ambientales del planeta gracias, entre otras cosas, a sus características fisiológicas, reproductivas, capacidad de adaptación y resiliencia. Y hoy en día ¿cómo responden ante el cambio climático? En el presente trabajo se explica muy brevemente qué es el cambio climático, qué tanto se trata de un ciclo natural y qué tanto es un efecto antropogénico, qué repercusiones tiene en los océanos y cómo afecta a los organismos marinos. Se hará especial énfasis y análisis en el efecto del cambio climático sobre las poblaciones de escifomedusas, sus proliferaciones masivas (blooms) y el potencial aprovechamiento que se podría hacer de ellas.

Palabras clave: Acidificación del mar, calentamiento global, estrategias reproductivas, florecimiento masivo, Medusozoa.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: mreza@cibnor.mx

Abstract

Jellyfish are organisms that have survived over time (more than 600 million years), overcoming the planet's geological and environmental challenges due to, among other things, their physiological and reproductive characteristics, adaptive capacity, and resilience. But today, how do they respond to climate change? This paper briefly explains what climate change is, how much it is a natural cycle and how much it is an anthropogenic effect, what repercussions it has on the oceans, and how it affects marine organisms. Special emphasis and analysis will be placed on the effect of climate change on scyphomedusa populations, their massive proliferations (blooms) and the potential use that could be made of them.

Keywords: Blooms, global warming, Medusozoa, ocean acidification, reproductive strategies.

Qué es el Cambio climático

El clima del planeta ha cambiado a lo largo de su historia, presentando periodos fríos (glaciales) y cálidos (interglaciales) (Lüthi *et al.*, 2008). Sin embargo, los cambios observados desde 1950 no tienen precedente, pues está ocurriendo aproximadamente 10 veces más rápido que la tasa promedio anterior (Fig. 1) (NASA/GISTEMP, 2025). *Coincidentemente* la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera también ha aumentado exponencialmente en el mismo periodo de tiempo (Fig. 2a), incrementando unas 250 veces más rápido después de la última Edad de Hielo (Fig. 2b) (MacFarling *et al.*, 2006). Estos cambios acelerados coinciden con el auge de la 2da revolución industrial, periodo en el que las industrias liberaban a la atmósfera gases con efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) (León-Cobo *et al.*, 2024), por lo que hoy en día la mayoría de los científicos coinciden en que el incremento del CO₂ atmosférico está directamente relacionado con el incremento de la temperatura en el planeta, y el humano sería el responsable de acelerar el calentamiento global y el cambio climático (Doney *et al.*, 2009; Nat. Res. Coun., 2012).

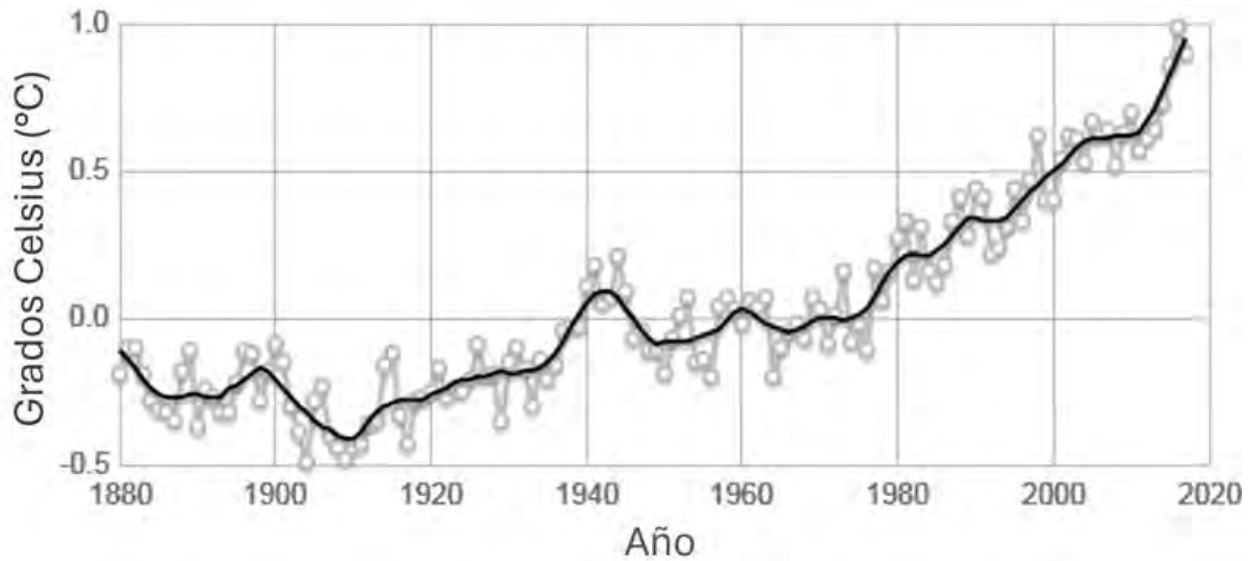


Figura 1. Cambios en la temperatura global a partir de la segunda revolución industrial (1880-2019) (Tomado y editado de NASA/GISTEMP, 2025).

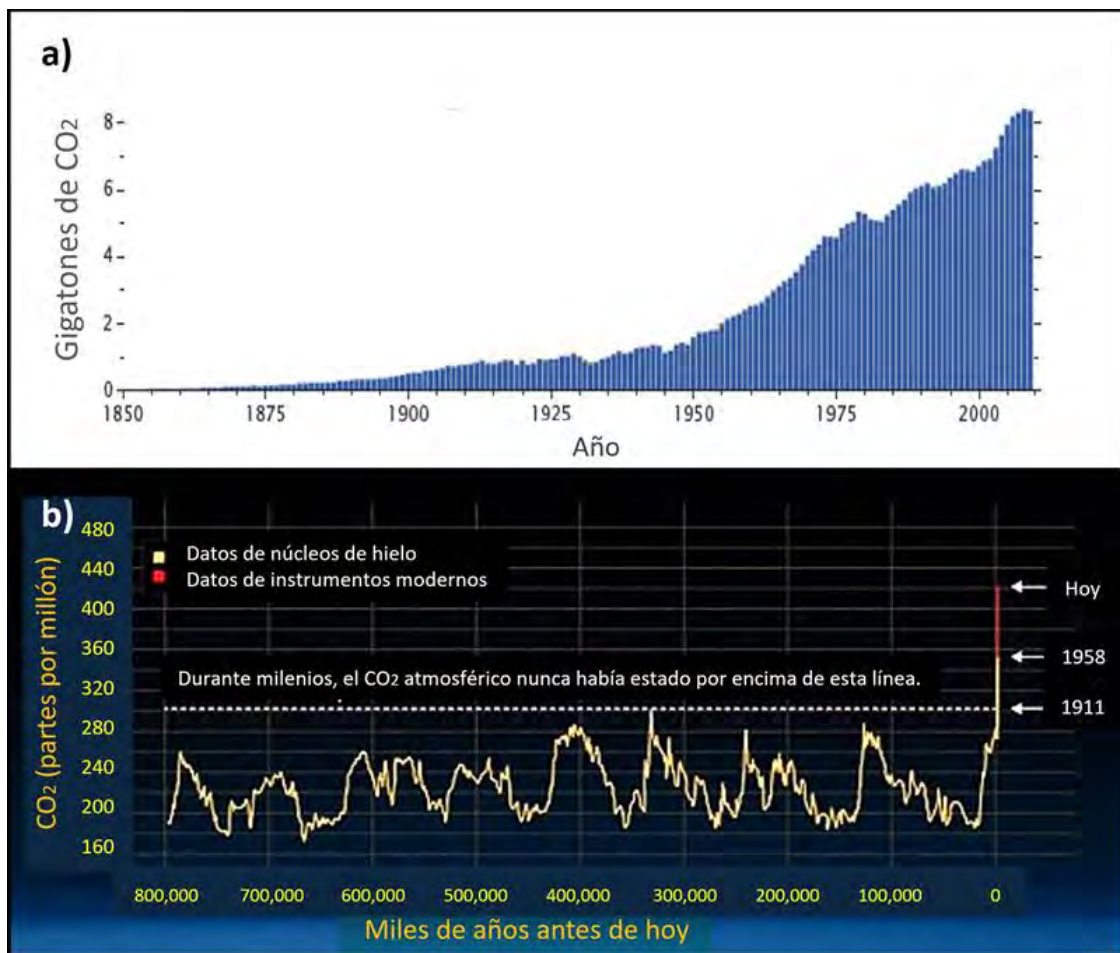


Figura 2. a) Emisiones globales de CO₂ (gigatonnes de carbono al año) a partir de la segunda revolución industrial (1850-2009) (Tomado y editado de Ghazouani, 2016), **b)** Concentración ambiental de CO₂ a lo largo de milenios (Tomado y editado de NASA, 2025).

La tierra, las plantas y el mar absorben carbono de la atmósfera, sin embargo, también lo liberan; y aunque absorben más de lo que liberan, no se alcanza a compensar la emisión industrial de carbono (ver <https://skepticalscience.com/human-co2-smaller-than-natural-emissions-basic.htm>) y alrededor de un 45% de los gases industriales permanecen en la atmósfera, alterando así cada vez más el equilibrio del CO₂ atmosférico y, en consecuencia, acelerando el calentamiento global (Nat. Res. Coun., 2012; Ummenhofer y Meehl, 2017).

Cómo afecta el cambio climático a organismos marinos

El calentamiento y acidificación del océano son de los principales factores responsables de estresar o modificar el ambiente marino, a sus organismos y a los ciclos biogeoquímicos (Baag y Mandal, 2022).

Con el calentamiento global también se da un aumento de temperatura en el mar, lo cual altera la producción primaria y secundaria, y modifica la densidad y distribución de las especies, alterando así la dinámica de las redes tróficas (León-Cobo *et al.*, 2024). El calentamiento del agua puede conducir a una disminución en el oxígeno subsuperficial, incrementando el riesgo de zonas hipóxicas o anóxicas, y puede también modificar la tasa de evaporación en los cuerpos de agua y los patrones de lluvia, con lo cual se ve afectada la salinidad del océano (Nat. Res. Coun., 2012).

Por otro lado, al incrementar la tasa de absorción del CO₂ en el mar, la química oceánica se ve afectada, pues la interacción del CO₂ con el agua disminuye el pH y se altera el equilibrio de carbonatos (Doney *et al.*, 2009; León-Cobo *et al.*, 2024; Needleman *et al.*, 2018; Thomas *et al.*, 2022). Y, al disminuir la disponibilidad de iones de carbonato, se presenta una disminución de la tasa de calcificación en los organismos formadores de conchas, así como una disminución en su tasa metabólica, desarrollo, crecimiento y sobrevivencia, presentando mayor sensibilidad las etapas tempranas de vida (Doney *et al.*, 2009; León-Cobo *et al.*, 2024; Thomas *et al.*, 2022).

La acidificación del océano continuará aumentando con el tiempo si las emisiones del CO₂ se mantienen, esta situación amenazará a muchas especies, con el pronóstico de que afecte principalmente a organismos calcificadores como moluscos, equinodermos y arrecifes coralinos (Doney *et al.*, 2009; Thomas *et al.*, 2022). No obstante, no todas las formas de vida van a sufrir, parte del fitoplancton y otros organismos fotosintetizadores podrían verse beneficiados por los incrementos de CO₂ (Thomas *et al.*, 2022). También se ha visto que a la mayoría de las especies de

medusas estudiadas les favorece el incremento moderado de temperatura (Schiariti *et al.*, 2014) y responden exitosamente a ambientes cambiantes, en gran parte debido al ciclo de vida y estrategias reproductivas que tienen (Needleman *et al.*, 2018).

Medusas: Ciclo de vida y estrategias reproductivas

Las medusas de la clase Scyphozoa o escifomedusas también son llamadas “medusas verdaderas”, y es a las que se referirá en el presente artículo. La mayoría de las escifomedusas tienen un ciclo de vida con una fase planctónica con reproducción sexual, y otra fase bentónica con reproducción asexual (Lucas, 2001). La mayoría de las especies presentan una estrategia reproductiva que permite la producción rápida de grandes cantidades de individuos (Condon *et al.*, 2012). En general, las medusas adultas (por ejemplo, del género *Stomolophus*), liberan sus gametos al agua donde se fecundan y se desarrollan a larva (plánula) (Fig. 3). Estos desoves son masivos y durante estas temporadas de reproducción sexual se produce una enorme cantidad de larvas plánulas, Lucas y Dawson (2014) mencionan que en distintos trabajos se han contabilizado de 58 mil a 65 mil larvas por medusa al día. En algunas especies, como las del género *Aurelia*, estas larvas plánulas se forman dentro de la campana de la medusa, lo cual puede ocurrir en tan sólo un día (Dong *et al.*, 2014), después de lo cual se liberan al agua, donde buscarán el sustrato adecuado para fijarse y transformarse en pólipos (Fig. 3) (escifistomas o escifopólipos), lo cual, bajo condiciones idóneas, se puede dar en tan sólo 2 días; y un pólipo maduro, de aprox 15 días, se podría reproducir asexualmente para dar origen a un nuevo pólipo en tan sólo 1-3 días más (Dong *et al.*, 2014).

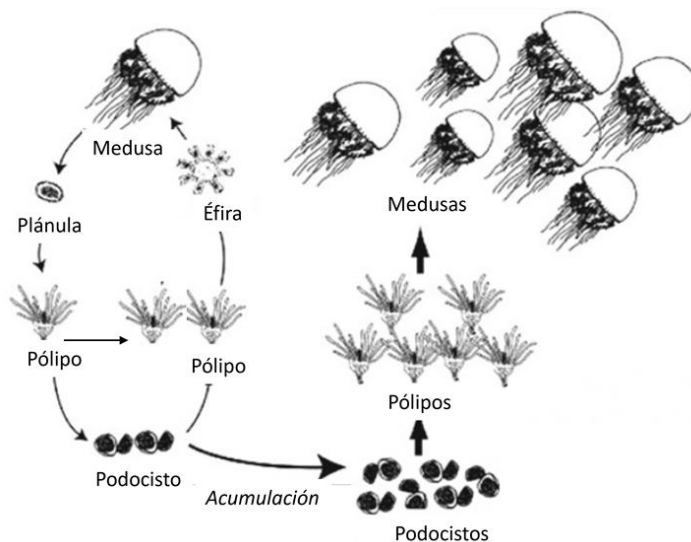


Figura 3. Esquema generalizado de la reproducción en escifomedusas (Tomado y editado de Kawahara *et al.*, 2013 En: Uye, 2014).

Algunas de las formas de reproducción asexual de los pólipos incluyen la gemación, donde se forman yemas clonales que surgen de un costado del cuerpo del pólipo, éstas se pueden liberar inmediatamente, teniendo la capacidad de desplazarse en el agua hasta encontrar un sustrato adecuado, o bien, pueden permanecer unidas al pólipo mientras se desarrollan hasta formar un nuevo organismo, después de lo cual se desprende. El pólipo también podría alargar una sección de su pie, dando origen a lo que se conoce como estolón, de donde se originará un nuevo pólipo. También podría dividirse a lo largo de sí mismo, y cada mitad se convertirá en un organismo completo. Ver Schiariti *et al.* (2014) para conocer los detalles de estas estrategias reproductivas.

Otra forma de reproducción asexual dará origen ya no a nuevos pólipos, sino a medusas, para lo cual los pólipos pasan por un proceso llamado estrobilación (Fig. 3), en el cual el pólipo se segmenta transversalmente y cada uno de los discos segmentados se transformará en un organismo con forma de estrella plana con una boca central, a esta forma o etapa del ciclo de vida se le llama éfira (Fig. 3). Dependiendo de la especie, un pólipo producirá una o más éfiras por evento reproductivo; se han reportado pólipos produciendo hasta 42 éfiras por evento, y se presentan varios eventos reproductivos al año, por lo que un solo pólipo puede llegar a producir más de 100 éfiras en el transcurso de dos meses, según lo documentado en *Rhopilema nomadica* (Lotan *et al.* 1992). Las éfiras formadas se desprenderán del pólipo e iniciarán su fase de vida pelágica, una vez liberadas inician su crecimiento y se desarrollarán a metaéfira, medusa juvenil y posteriormente medusa adulta, lo cual puede darse en 80 días, en el caso de *Aurelia* (Dong *et al.*, 2014). Las éfiras y medusas son planctónicas por lo que dan a la población un mayor potencial de dispersión (Condon *et al.*, 2012), y durante la fase medusa la reproducción es sexual por lo que aumenta el intercambio de genes entre poblaciones (Condon *et al.*, 2012).

Si nos basamos en los tiempos anteriormente mencionados, en menos de 4 meses, bajo condiciones óptimas, un solo huevo es capaz de dar origen a muchísimas medusas sexualmente maduras listas para desovar, lo que pone en evidencia el potencial que tienen estos animales para incrementar rápidamente su población. Además, las escifomedusas tienen tasas de crecimiento que son dos o tres veces mayores a las de animales no gelatinosos (Pitt *et al.*, 2013), por ejemplo, la medusa gigante, *Nemopilema nomurai*, se desarrolla de una éfira de 2 – 3 mm a un adulto sexualmente maduro mayor a 1 metro de diámetro y aproximadamente 95 kg en 6 –7 meses (Kawahara *et al.*, 2006). Desde luego, como todo en biología, las estrategias reproductivas, la cantidad de descendencia y la tasa de crecimiento, entre otras cosas, varía según la especie.

Además de las estrategias reproductivas mencionadas anteriormente, en algunas especies, como *Stomolophus* sp. y *Chrysaora quinquecirrha*, se presenta también la formación de podocistos, los cuales son quistes que se forman de la base pedal del pólipo, tienen una cubierta de quitina y en su interior contienen reservas energéticas y compuestos orgánicos. De estos podocistos emergen pequeños pólipos que se desarrollarán formando pólipos completamente activos y funcionales (Arai, 2009; Thein *et al.*, 2012). En *Stomolophus* se ha registrado que la tasa de producción de podocistos aumenta cuando aumenta también la disponibilidad de alimento junto con condiciones ambientales favorables para la especie (Hernández-Tlapale, 2010), así mismo, se ha reportado en *Chrysaora quinquecirrha* su capacidad de producir más de 50 podocistos en 3 meses (Cargo y Schultz, 1966 En: Lucas y Dawson, 2014).

Pero la formación de podocistos no es sólo otra estrategia de reproducción, también es una importante estrategia de sobrevivencia ante condiciones ambientales estresantes como pueden ser periodos de hipoxia, precipitación de sedimentos, periodos de inanición, cambios de temperatura y presencia de depredadores. Se ha registrado un incremento en la producción de podocistos en *Aurelia aurita* cuando los pólipos se someten a temperaturas mayores de las de su rango óptimo de temperatura (Thein *et al.*, 2012). Los podocistos son capaces de mantenerse en dormancia por más de 3 – 6 años según la especie (Arai, 2009), y cuando las condiciones ambientales, como temperatura, oxígeno, pH, salinidad, etc., son las adecuadas para la especie, emergen nuevos pólipos de estos podocistos (Arai, 2009; Thein *et al.*, 2012).

Todas estas estrategias hacen que las medusas persistan durante periodos de malas condiciones ambientales o escases de recursos, y desarrollen su máximo desempeño reproductivo cuando estas condiciones mejoran, haciendo que los florecimientos masivos o “blooms” sean característicos de este grupo taxonómico.

Blooms y su efecto en el medio ambiente

Un *bloom* de medusas consiste en un incremento masivo en la biomasa y número de organismos de una especie (Fig. 4), sin embargo, después de unas semanas o meses, la población desaparece abruptamente debido a que las medusas adultas se hunden y mueren después de haber desovado (Lucas, 2001; Pitt *et al.*, 2014). Se trata de un evento natural que se ha presentado desde hace cientos de millones de años (Condon *et al.*, 2012). Actualmente existe la controversia de si estos blooms son o no son cada vez más abundantes y frecuentes en todo el mundo (Condon *et al.*, 2012; Pauly *et al.*, 2009), podría ser mera percepción del público y/o que exista una mayor documentación

de estos eventos (Condon *et al.*, 2012); basta con poner en el buscador “jellyfish bloom” o “jellyfish swarms” para encontrar lo que tal vez sean cientos de imágenes y reportes de blooms en distintas partes del mundo. El último registro hasta el momento fue a finales de junio del presente año, reportando bloom de la que aparenta ser *Pelagia noctiluca*, en Cape Town, Sudáfrica (O’Connor, R. 2025).

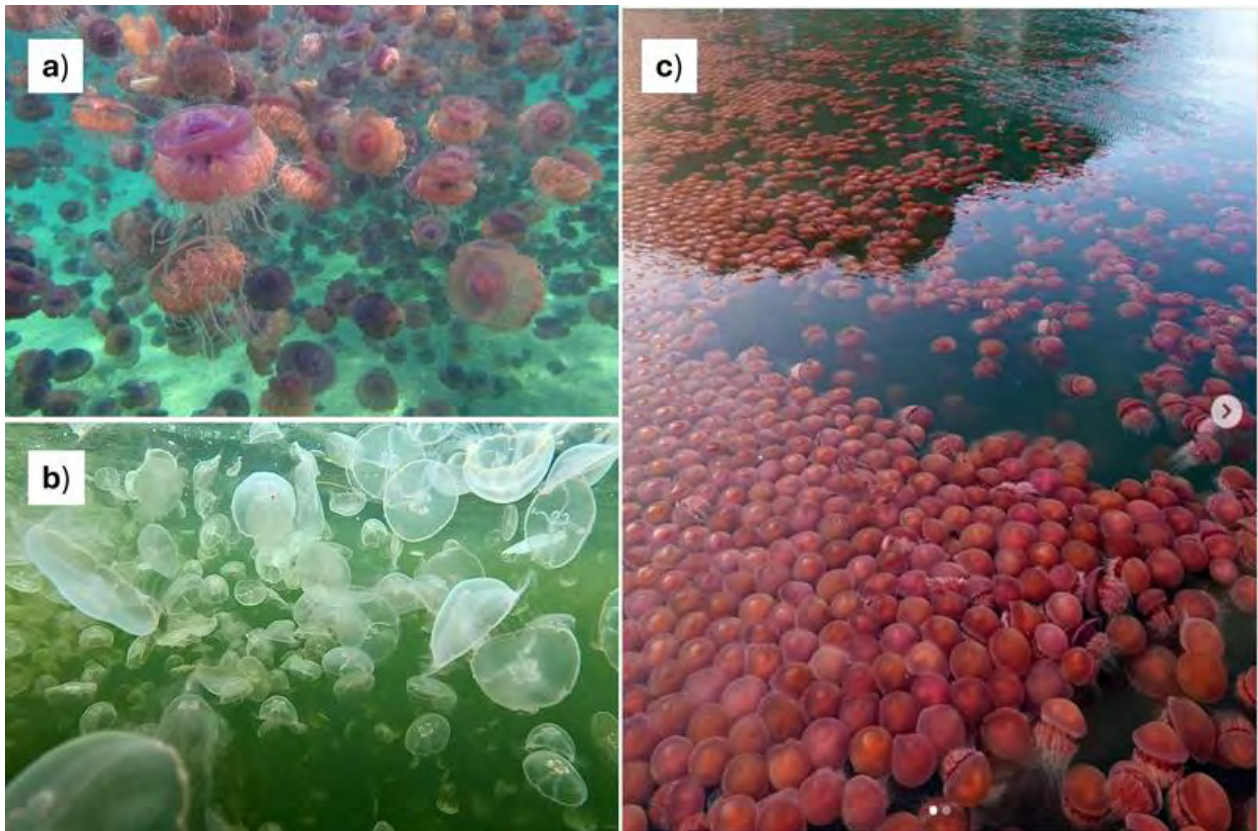


Figura 4. Blooms de medusas. a) Medusa coronada en costas de Egipto, Mar Rojo (Tomado de HEPCA, 2011), b) Medusa luna en costa de Dinamarca, Mar Báltico (Tomado de Loctier y Euronews, 2024), c) Medusa rosa o tomate en Filipinas, Mar de China (Tomado de McCall, 2020).

Tal vez uno de los servicios más importantes de las medusas, en especial durante la aparición de estos blooms, es la contribución en la regulación del clima a través del secuestro de carbono y el transporte de éste a través de la columna de agua (Doyle *et al.*, 2014). Las medusas liberan grandes cantidades de desechos orgánicos disueltos ricos en carbono, y durante el periodo de mortalidad masiva, al final del bloom, se da una importante acumulación de carbono en el lecho marino. Sin embargo, la respiración microbiana asociada a la descomposición de las medusas puede causar una demanda de oxígeno excesiva que puede resultar en sitios de hipoxia o anoxia (Pitt *et al.*, 2009). Así mismo, la acumulación de medusas en la superficie del mar durante el Bloom (Fig. 5), bloquea el paso del oxígeno atmosférico, y a su vez las medusas consumen el oxígeno superficial, por lo que

la cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua disminuye (Pitt *et al.* 2009). Estos animales, en su fase medusa, contribuyen a mezclar el agua de distintas capas del mar mientras se desplazan por la columna de agua; debido a su tipo de natación por contracciones contribuyen a distribuir el calor, sales, oxígeno y nutrientes (Doyle *et al.*, 2014).



Figura 5. Acumulación de medusas en la superficie del mar (Tomado de Shiffman, 2022).

Un bloom representa un fuerte impacto ecológico al haber una presencia masiva de depredadores voraces (Lucas, 2001); la mayoría de las medusas son carnívoras y se alimentan de una gran variedad de zooplancton, incluyendo copépodos, larvas véliger, huevos y larvas de peces (Álvarez-Tello *et al.*, 2015). Pero, además, no sólo afectan a las especies que consumen, también son fuertes competidores por alimento de otros peces y organismos zooplanctívoros (Lucas, 2001). Por otro lado, las medusas liberan grandes cantidades de compuestos nitrogenados, que contribuyen hasta en un 8% de los requerimientos de N del fitoplancton (Pitt *et al.*, 2009). Así que las medusas contribuyen también a regular y equilibrar la biodiversidad y, además, funcionan también como refugio para peces juveniles e invertebrados (Arai, 1997; Masuda, 2009) y como alimento de otros animales (Pauly *et al.*, 2009).

Registros de blooms de escifomedusas en distintas zonas geográficas, y su posible relación con el cambio climático.

Algunos de los blooms de medusas más importantes que se han observado involucran especies presentes en zonas fuera de su rango de distribución típico, en distintas épocas o por periodos más prolongados y con mayor frecuencia, lo que en distintos estudios se ha sugerido, será cada vez más frecuente por el cambio climático (Hashim *et al.*, 2022; Needleman *et al.*, 2018; Purcell *et al.*, 2012).

En el Mar de Japón se presentan blooms de la medusa más grande que existe, la medusa gigante *Nemopilema nomurai*, la cual llega a medir hasta 3.5 m en su campana, más el largo de sus tentáculos que se pueden extender por varios metros; estos blooms son cada vez más frecuentes y abundantes (con capturas de más de 1500 medusas al día) (Kawahara *et al.*, 2006). Este cambio se atribuye a cambios ambientales en la región, ya que se ha observado que con un ligero incremento de temperatura (+1.7 °C) la tasa de reproducción asexual en los pólipos de esta especie se acelera en un 20%, por lo que el calentamiento global podría estar promoviendo la reproducción de los mismos, y eventualmente traería como consecuencia blooms que inician antes de la temporada habitual y duran más tiempo (Thein *et al.*, 2012; Uye, 2014). Esto coincide con lo encontrado en otras especies como *Chrysaora pacifica* y *Cyanea nozakii*, las cuales también presentan poblaciones de pólipos más abundantes a mayores temperaturas (Thein *et al.*, 2013).

En el Mar Mediterráneo se presentan blooms de aproximadamente 12 diferentes especies de escifomedusas, siendo la más frecuente *Pelagia noctiluca*. Esta especie es abundante entre los 10 y 30 m de profundidad, coincidiendo con la haloclina / picnoclina superior y la presencia de altas concentraciones de plancton (Canepa *et al.*, 2014). A su vez, en el Mar de Bering se ha documentado que las 5 especies más abundantes también responden a condiciones físicas ambientales y a la disponibilidad de alimento, ya que su distribución horizontal, a mayor o menor densidad, es proporcional a la productividad de la zona; y la biomasa y densidad poblacional es mayor a menor profundidad (distribución vertical) (Decker *et al.*, 2014). Al parecer, a pesar de su distancia, tanto en el Mar de Bering como en el Mediterráneo, los organismos de menor talla se encuentran en las zonas profundas y migran a la superficie cuando son de mayor tamaño (Canepa *et al.*, 2014; Decker *et al.*, 2014), probablemente para agruparse y reproducirse de manera sexual. Se sabe que esta migración, así como la reproducción y el crecimiento, tienen relación directa con factores ambientales, tales como salinidad del agua, productividad y/o disponibilidad de alimento, y cambios de temperatura.

En el Mar Amarillo se ha reportado la presencia de 35 especies de escifomedusas, de las cuales *Aurelia aurita* es la que presenta blooms más abundantes y de mayores repercusiones, llegándose a extraer más de 4,000 toneladas de esta medusa en un mes (Dong *et al.*, 2014). Además de sus estrategias reproductivas y rápido desarrollo, *A. aurita* es sumamente exitosa debido a su amplio rango de tolerancia a la temperatura y salinidad (Lucas, 2001; Purcell *et al.*, 2012), así como alta tolerancia a bajas concentraciones de O₂ disuelto, logrando sobrevivir en aguas hipóxicas y anóxicas (Lucas, 2001). Se ha correlacionado el inicio de la estrobilación con el descenso en la temperatura, al menos como estímulo inicial (Lucas, 2001; Purcell *et al.*, 2012; Thein *et al.*, 2012), así como con cambios en el nivel de irradiancia y disponibilidad de alimento (Lucas, 2001); y el amplio rango de tolerancia antes mencionado, les permite tener temporadas reproductivas más largas, registrándose en algunas zonas (Japón, Micronesia y Canadá) períodos prolongados o semicontinuos de estrobilación, lo cual se ve reflejado en la presencia de éfiras y medusas en la columna de agua durante gran parte del año (Lucas, 2001; Purcell *et al.*, 2012). Además, se ha registrado que esta especie acelera su producción de pólipos por gemación y podocistos cuando aumenta la temperatura (Purcell *et al.*, 2012; Thein *et al.*, 2012), efecto que también se ha registrado en especies como *Rhizostoma pulmo* y *Cotylorhiza tuberculata* (Purcell *et al.*, 2012); por lo que el calentamiento global podría beneficiar la proliferación de las colonias de pólipos de varias especies.

En el Golfo de California se presentan importantes blooms de *Stomolophus* sp. (Medusa Bola de Cañón), habiéndose registrado la extracción de hasta 80 mil toneladas al año (IMIPAS, 2023). Se cree que algunas de las razones que promueven estos blooms son la disponibilidad abundante de alimento, la corriente hacia el norte que promueve la acumulación de medusas y la temperatura cálida en la zona (20-29 °C). Se ha observado que la sobrevivencia de pólipos *Stomolophus*, así como su reproducción asexual (estrobilación y podocistos) es mayor conforme aumenta la temperatura, casi duplicando la cantidad de estróbilas e incluso con mayor liberación de éfiras por pólipo (Hernández-Tlapale, 2010), por lo que el aumento de temperatura en el mar, debido al calentamiento global, podría estar promoviendo el fuerte incremento en la densidad de estos blooms.

A pesar de los ejemplos mencionados, al parecer la respuesta ante el cambio de temperatura está relacionada a la zona en donde habitan los organismos, es decir, a las temperaturas a las que estén adaptados. Así, pólipos que habitan en zonas con cambios estacionales muy marcados estrobian cuando baja la temperatura, pólipos en zonas boreal y templada registran mayor producción de éfiras cuando aumenta la temperatura, y especies de zonas cálidas presentan su mayor producción de éfiras cuando la temperatura del agua está intermedia dentro del rango de temperatura de la

región (Purcell *et al.*, 2012). Sin embargo, también se puede encontrar distintas respuestas entre especies de las mismas latitudes, por ejemplo, pólipos en zonas templadas como *Rhopilema esculentum* y *Cyanea capillata* aumentan su producción de podocistos cuando aumenta la temperatura (Brewer y Feingold, 1991 y Lu *et al.*, 1997 En: Thein *et al.*, 2012); mientras que especies como *Chrysaora quinquecirrha* produce más podocistos sólo cuando la temperatura disminuye (Cargo y Schultz, 1967 En: Thein *et al.*, 2012). Así que, por lo visto, el calentamiento global favorecerá de distinta manera a algunas especies de algunas regiones.

Además del calentamiento global, también se encuentra relacionado al cambio climático la acidificación del mar. Existen pocos estudios sobre el efecto de este fenómeno en las medusas, sin embargo, se ha visto que, a diferencia de la mayoría de los organismos marinos, las poblaciones de medusas aumentan conforme se acidifica el mar (Attrill *et al.*, 2007). Se ha registrado que los pólipos de varias especies son capaces de sobrevivir en ambientes acidificados, sin embargo, a menor pH éstos forman éfiras más pequeñas (Winans y Purcell, 2010). En su fase pelágica las medusas poseen unas pequeñas estructuras sólidas-cristalinas llamadas estatolitos, que tienen la función de dar el sentido del equilibrio y orientación en la columna de agua. La mayoría de los estatolitos de organismos marinos están compuestos por carbonato de calcio (CaCO_3), por lo que la baja disponibilidad de iones de carbonato en el medio podría afectar su composición, forma y tamaño; pero a diferencia de éstos, los estatolitos de las medusas están formados por sulfato de calcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$) y se encuentran dentro de unos sacos llamados estatocistos ubicados en los bordes de la campana (Sötje *et al.*, 2011 En: León-Cobo *et al.*, 2024). En medusas como *Rhizostoma pulmo*, se ha registrado que ni la temperatura ni la acidificación afectan el número de estatolitos producidos, sin embargo, a mayor temperatura se producen estatolitos más grandes, mientras que a mayor acidez estos cristales son ligeramente más pequeños, y, cuando ambas variables aumentan simultáneamente parece ser que el efecto de la acidificación mitiga parcialmente el impacto de la temperatura, por lo que el cambio en el tamaño de los estatolitos no es significativo (León-Cobo *et al.*, 2024). Esto también se ha visto en *Aurelia labiata* y *Cotylorhiza tuberculata* (Enrique-Navarro *et al.*, 2021; Winans y Purcell, 2010), lo cual se debe a que la presencia de sulfato en lugar de carbonato reduce la afectación que pudiera tener la acidificación del mar, además por estar dentro de los estatocistos, los estatolitos se encuentran aislados del medio, por lo que no se hidratan y su estructura permanece muy estable (León-Cobo *et al.*, 2024). Siendo así, el cambio climático (calentamiento global + acidificación del mar) no representaría una afectación importante para las medusas, al menos en cuanto a sus estructuras de equilibrio y orientación.

Existen otros factores que han contribuido a incrementar la densidad y frecuencia de los blooms de medusas, éstos están relacionados directamente a las actividades antropogénicas (Condon *et al.*, 2012; Hashim *et al.*, 2022; Lucas, 2001). Uno de los factores directos más evidentes es la translocación de especies (Condon *et al.*, 2012), lo cual puede ocurrir de manera no intencionada, trasladando organismos de mar a mar en el agua de lastre de las embarcaciones. También está el aporte de nutrientes al mar, tales como el nitrógeno inorgánico disuelto y el fósforo producidos por la agricultura, ganadería, residuos urbanos y actividad industrial; estos nutrientes favorecen la producción de fitoplancton, lo que a su vez favorece la producción de zooplancton y esto implica una mayor cantidad de alimento disponible para las medusas (Hashim *et al.*, 2022; Nat. Res. Coun., 2012). Estos cambios en la composición de nutrientes también promueven la presencia de marea roja, con la cual se presenta hipoxia o anoxia en ciertas zonas, esto es detrimental para varias especies, pero no para las medusas ni sus pólipos. La infraestructura marina (puertos, rompeolas, muelles, estructuras de acuicultura) y basura costera han brindado una mayor área de superficie para la fijación y asentamiento de los pólipos (Dong *et al.* 2014; Lucas, 2001). Y la disminución de competidores y depredadores, generalmente ocasionado por la sobrepesca, favorece también el crecimiento poblacional de cualquier especie de medusa (Condon *et al.*, 2012; Hashim *et al.*, 2022; Lucas, 2001; Pauly *et al.*, 2009).

Blooms: efectos económicos y potencial aprovechamiento

Es importante monitorear los blooms de medusa para tratar de entender sus causales, y así poder predecirlos y mitigar sus efectos adversos, y también aprovechar la presencia y abundancia de estos animales. Como efectos adversos, se han registrado importantes afectaciones económicas en varios sectores, tales como turismo, pesca y acuicultura. Por ejemplo, en el sector pesquero, la acumulación masiva de medusas obstruye y rompe las redes, dañan o matan los peces capturados, pican a los pescadores, y se incrementa el tiempo y esfuerzo de pesca (Hashim *et al.*, 2022; Kawahara *et al.*, 2006; Lucas, 2001; Lucas *et al.*, 2014). En la acuicultura, cuando se acumulan alrededor de las jaulas de cultivo, bloquean el flujo de agua causando daño a los peces por hipoxia e irritando su piel, ojos y branquias; además, cargan bacterias que al acumularse infectan y enferman a los organismos en cultivo (Lucas *et al.*, 2014). Y en cuanto al turismo, afecta a los bañistas de las costas turísticas, que gradualmente van buscando otras alternativas para vacacionar.

Sin embargo, se puede sacar provecho de la disponibilidad masiva de este recurso. Desde hace aproximadamente 1700 años, en algunos lugares de Asia como China, Japón y Corea del Sur, las personas consumen medusa de manera habitual, procesándola para snacks o utilizándola como ingrediente de ensaladas, sopas y otros platillos más elaborados (Brotz *et al.*, 2017; Duarte *et al.*, 2021; López-Martínez y Álvarez-Tello, 2013; Pauly *et al.*, 2009). Se han reportado 35 especies que pueden ser consumidas por el humano, la mayoría pertenecientes al orden Rhizostomeae, por tener un cuerpo y textura más firme (Brotz *et al.*, 2017; Duarte *et al.*, 2021).

Durante muchos años se había considerado a las medusas como un alimento de bajo valor nutricional debido a que su composición es principalmente agua (>95%) (Duarte *et al.*, 2021), sin embargo, estudios han demostrado que algunas escifomedusas (p.ej. de los géneros *Aurelia*, *Chrysaora*, *Pelagia*, *Rhopilema* y *Nemopilema*) pueden ser un buen complemento alimenticio en la acuicultura, considerándolas como un recurso sostenible y valioso debido a su alta concentración de aminoácidos derivados del colágeno (glicina, prolina, hidroxiprolina), adecuada proporción de metionina y lisina, presencia de taurina y ácidos grasos de cadena larga, y riqueza en minerales como Na, K, Cl, Mg, y Zn (Gatusso *et al.*, 2025). Además, sus tejidos pueden ser rápidamente digeridos y asimilados (Duarte *et al.*, 2021). También se ha observado que medusas como *Aurelia* y *Nemopilema* pueden funcionar como atractante en alimentos elaborados para peces (Gatusso *et al.*, 2025). Y no sólo se han utilizado como alimento para invertebrados y vertebrados marinos en cultivo, las medusas también han funcionado como alimento para varios tipos de animales terrestres como gallinas y puercos (Gatusso *et al.*, 2025).

También desde hace mucho tiempo atrás, en algunas regiones, las medusas se han utilizado como fertilizante en la agricultura. Más recientemente han surgido estudios específicos buscando la posibilidad de aprovechar estos blooms (por ejemplo, de las escifomedusas *Lychnorhiza malayensis*, *Chrysaora* sp. y *Marivagia stellata*) para utilizarlos como fertilizantes orgánicos, encontrando resultados positivos pues se incrementan las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio disponibles para las plantas, además de retener mayor porcentaje de humedad (Samaraweera y Dissanayake, 2022). También en agricultura, se ha investigado el uso potencial de medusas, como *Cyanea capillata*, como herbicida e insecticida (Hussein *et al.*, 2015).

Las medusas también se han estudiado con fines médicos y cosméticos, por ejemplo, se ha visto su uso potencial en medicina utilizando algunas de sus toxinas como compuestos anticancerígenos, inmunoestimulantes, y otros de sus extractos como complementos antioxidantes (Balamurugan *et*

al., 2010; Khong *et al.*, 2016). Así mismo, se ha detectado un compuesto (glucoproteína) con funciones lubricantes y protectoras, el cual tiene el potencial de ser utilizado como transportadores para la administración de fármacos, componentes de matrices extracelulares artificiales, reactivos antibióticos, retenedores de humedad para materiales cosméticos y aditivos alimentarios (Ohta *et al.*, 2009; Masuda *et al.*, 2007 En: Doyle *et al.*, 2014). Hasta hace unos años aún no existían métodos para producir artificialmente grandes cantidades de esta mucina, sin embargo, se podrían recolectar cantidades suficientes de medusas para satisfacer la demanda.

Las escifomedusas son también una fuente abundante de colágeno, en algunas especies es el 50% de su composición total de proteína (Gatusso *et al.*, 2025), y además se ha encontrado que el colágeno derivado de estas medusas es biocompatible con el colágeno humano, por lo que se considera como una buena alternativa al colágeno bovino o porcino, que son los que más se utilizan en suplementos para humanos (Duarte *et al.*, 2021). Es por esto que el extracto de colágeno de medusa se ha utilizado como complemento de bebidas embellecedoras, así como auxiliar en el tratamiento de la hipertensión, indigestión, fatiga, dolor de espalda, artritis reumatoide, reconstrucción muscular, de cartílago y hueso (Addad *et al.* 2011; Hsieh *et al.*, 2001; You *et al.* 2007 En: Doyle *et al.*, 2014).

Los blooms de medusas soportan pesquerías de aprovechamiento principalmente en China, Japón y Corea del Sur (Doyle *et al.*, 2014), donde dichas pesquerías han incrementado exponencialmente desde 1970's (Brotz *et al.*, 2017), y se han expandido a otros países de Asia como India, Indonesia, Malasia, Pakistán, Filipinas, Tailandia y Vietnam (Duarte *et al.*, 2021); además, se han extendido hacia otras áreas como el hemisferio Oeste, con al menos 19 países participando en estas pesquerías (Duarte *et al.*, 2021). Así, con el paso del tiempo, la pesquería global de medusa ha aumentado significativamente, con capturas excediendo el millón de toneladas, al menos hasta el 2016 (Brotz *et al.*, 2017). La pesquería reportada en el continente americano representa tan sólo el 3% de la pesca global, participando países como Canadá, Perú, Argentina, Ecuador, Honduras, México, Nicaragua y Estados Unidos, los últimos 5 enfocados principalmente a la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.) (Brotz *et al.*, 2017). Esta especie es la única que se pesca en México, se registró por primera vez, en el 2000, su pesquería emergente (de fomento) en el Golfo de México (Tabasco) y posteriormente en el Golfo de California (Sonora) (Brotz *et al.*, 2017; López-Martínez y Álvarez-Tello, 2013). En Sonora, desde el 2001 se ha aprovechado el recurso desarrollando una pesquería cuya explotación anual hasta el 2015 ascendía a un promedio de 10-15 mil toneladas, oscilando desde 1,000 hasta 30,000 toneladas por año (Brotz *et al.*, 2017; López-Martínez y Álvarez-

Tello., 2013), y en años posteriores (2018) se registró la extracción de hasta 80 mil toneladas (IMIPAS, 2023). En la actualización de la Carta Nacional Pesquera (2023) aparece el recurso Bola de cañón (*Stomomlophus*) como pesca comercial principalmente en Sonora, pero se incluyen también a Baja California y Sinaloa (IMIPAS, 2023).

No obstante, los blooms de medusa presentan fuertes variaciones interanuales, lo que dificulta hacer predicciones poblacionales o de captura, y hace que las pesquerías sean inestables, de temporadas cortas y fluctuantes (Brotz *et al.*, 2017; Duarte *et al.*, 2021). Esto ha complicado establecer un adecuado esquema de manejo de las pesquerías, por lo tanto, se deberán seguir estrategias conservativas como límites de captura, límite de talla de pesca, manejo adaptativo, principio precautorio y protección al hábitat de los pólipos (Brotz *et al.*, 2017). Cabe mencionar que la mayor parte del producto pesquero se exporta de manera casi exclusiva a China, Japón y Corea del Sur, quienes siguen siendo los principales consumidores de este recurso en el mercado (Duarte *et al.*, 2021).

Conclusiones

- Varias especies de medusas tienen un amplio rango de tolerancia a distintos parámetros ambientales y periodos de inanición, esto, aunado a su ciclo de vida y estrategias reproductivas, les permiten persistir durante periodos de malas condiciones ambientales o escases de recursos, y desarrollar su máximo desempeño reproductivo cuando estas condiciones mejoran.
- Las actividades antropogénicas y el cambio climático están haciendo que los blooms de medusas se presenten de manera más frecuente, prolongada y densa.
- El calentamiento global favorecerá de distinta manera a algunas especies de algunas regiones, sin embargo, en la mayoría de las escifomedusas estudiadas, se ha visto que la reproducción asexual aumenta después de un incremento en la temperatura.
- La acidificación del mar no afecta de manera significativa a las escifomedusas, por lo menos hasta los niveles de acidificación pronosticados para el próximo siglo.
- Existen varios usos potenciales para el recurso medusa, por lo que bien se podría aprovechar su abundante disponibilidad durante los blooms. Sin embargo, la gran variación interanual que se presenta dificulta elaborar un adecuado manejo pesquero.
- En México, principalmente en Sonora, la pesquería de medusa se dirige a la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.), y el producto procesado se exporta a Asia.

Literatura citada

1. Álvarez-Tello, F.J., J. López-Martínez y D.B. Lluch-Cota. 2015. *Trophic spectrum and feeding pattern of cannonball jellyfish Stomolophus meleagris (Agassiz, 1862) from central Gulf of California*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 96 (6): 1217-1227.
2. Arai, M.N. 1997. *A functional biology of Scyphozoa*. Chapman & Hall. Londres, Inglaterra. 315 pp.
3. Arai, M.N. 2009. *The potential importance of podocysts to the formation of scyphozoan blooms: a review*. Hydrobiologia 616: 241–246.
4. Attrill, M.J., J. Wright y M. Edwards. 2007. *Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea*. Limnology and Oceanography 52 (1): 480–5.
5. Baag, S. y S. Mandal. 2022. *Combined effects of ocean warming and acidification on marine fish and shellfish: A molecule to ecosystem perspective*. Science of The Total Environment 802: 149807.
6. Balamurugan, E., B.V. Reddy y V.P. Menon. 2010. *Antitumor and antioxidant role of Chrysaora quinquecirrha (sea nettle) nematocyst venom peptide against ehrlich ascites carcinoma in Swiss Albino mice*. Molecular and Cellular Biochemistry 338: 69–76.
7. Brotz, L., A. Schiariti, J. López-Martínez, J. Álvarez-Tello, Y.-H.P. Hsieh, R.P. Jones, J. Quiñones, Z. Dong, A.C. Morandini, M. Preciado, E. Laaz, H. Mianzan. 2017. *Jellyfish fisheries in the Americas: origin, state of the art, and perspectives on new fishing grounds*. Reviews in Fish Biology and Fisheries 27: 1-29.
8. Canepa, A., V. Fuentes, A. Sabatés, S. Piraino, F. Boero y J.-M. Gili. 2014. *Pelagia noctiluca in the Mediterranean Sea*. 237-266. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
9. Condon, R.H., W.M. Graham, C.M. Duarte, K.A. Pitt, C.H. Lucas, S.H.D. Haddock, K.R. Sutherland, K.L. Robinson, M.N. Dawson, M.B. Decker, C.E. Mills, J.E. Purcell, A. Malej, H. Mianzan, S.-I. Uye, S. Gelcich y L.P. Madin. 2012. *Questioning the Rise of Gelatinous Zooplankton in the World's Oceans*. BioScience 62: 160–169.
10. Decker, M.B., K. Cieciel, A. Zavolokin, R. Lauth, R.D. Brodeur y K.O. Coyle. 2014. *Population fluctuations of jellyfish in the Bering Sea and their ecological role in this productive shelf ecosystem*. 153-183. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.

11. Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely y J.A. Kleypas. 2009. *Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem*. Annual Review of Marine Science 1: 169–92.
12. Dong, Z., L. Dongyan, y J.K. Keesing. 2014. *Contrasting trends in populations of Rhopilema esculentum and Aurelia aurita in chinese waters*. 207-218. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
13. Doyle, T.K., G.C. Hays, C. Harrod y J.D.R. Houghton. 2014. Ecological and societal benefits of jellyfish. 105-127. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
14. Duarte, I.M., S.C. Marques, S.M. Leandro y R. Calado. 2021. *An overview of jellyfish aquaculture: for food, feed, pharma and fun*. Reviews in Aquaculture 00: 1–23.
15. Enrique-Navarro, A., I.E. Huertas, M.J. León-Cobo y L. Prieto. 2021. *Impact of ocean warming and ocean acidification on asexual reproduction and statolith formation of the symbiotic jellyfish Cotylorhiza tuberculata*. PLoS One 16 (8): e0254983.
16. Gattuso, P., N. Nogueira, S.K.M. Gueroun, J. Javidpour, J. Canning-Clode y C.A.P. Andrade. 2025. *Is jellyfish a suitable ingredient for aquafeed? A comprehensive review of nutritional potential and limitation*. Frontiers in Marine Science 12:1539725.
17. Hashim, A.R., S.A. Kamaruddin, F. Buyong, E.N. Mat Nazir, C.Z. Che Ismail, J. Tajam, A.L. Abdullah, T.M. Firdaus Azis y A. Anscelly. 2022. *Jellyfish blooming: Are we responsible?* Proceedings of the ICAN International Virtual Conference 51-60.
18. Hernández-Tlapale, C. 2010. *Efecto de la temperatura en la reproducción asexual de la fase pólipo en la medusa bola de cañón Stomolophus meleagris Agassiz, 1862 (Scyphozoa, Rhizostomeae) en condiciones controladas*. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar. México. 45 pp.
19. Hussein, O.S., R.M. Sayed y O.I. Saleh. 2015. *Uses of jellyfish in pre sowing seeds treatment and pest control*. Journal of Experimental Agriculture International 5 (1): 60-69.
20. Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable (IMIPAS). 21 de julio del 2023. Actualización de la Carta Nacional Pesquera (Diario Oficial de la Federación) Gobierno de México.
21. Kawahara, M., S. Uye, K. Ohtsu y H. Iizumi. 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. Marine Ecology Progress Series 307: 161–173.
22. Khong, N.M.H., F.Md. Yusoff, B. Jamilah, M.Basri, I. Maznah, K.W. Chan y J. Nishikawa. 2016. *Nutritional composition and total collagen content of three commercially important edible jellyfish*. Food Chemistry 196: 953–960.

23. León-Cobo, M. J., A. Enrique-Navarro, A. Bartual y L. Prieto. 2024. *Impact of warming and acidification of the Mediterranean Sea on statolith formation of the scyphozoan jellyfish Rhizostoma pulmo Macri (1778)*. Marine Environmental Research 202: 106788.
24. López-Martínez, J. y J. Álvarez-Tello. 2013. *The jellyfish fishery in México*. Agricultural Sciences 4 (6A): 57-61.
25. Lotan, A., R. Ben-Hillel y Y. Loya. 1992. *Life cycle of Rhopilema nomadica: a new immigrant scyphomedusan in the Mediterranean*. Marine Biology 112: 237–242.
26. Lucas, C.H. 2001. *Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, Aurelia aurita, in relation to its ambient environment*. Hydrobiologia 451: 229-246.
27. Lucas, C.H. y M.N. Dawson. 2014. *What are jellyfishes and thaliaceans and why do they bloom?* 9-44. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
28. Lucas, C.H., S. Gelcich y S.-I. Uye. 2014. *Living with jellyfish: management and adaptation strategies*. 129-150. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
29. Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J. M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura y T. F. Stocker. 2008. *High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present*. Nature 453: 379–382.
30. MacFarling, M.C., D. Etheridge, C. Trudinger, P. Steele, R. Langenfelds, T. van Ommen, A. Smith y J. Elkins. 2006. *Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP*. Geophysical Research Letters 33: L14810.
31. Masuda, R. 2009. *Ontogenetic changes in the ecological function of the association behavior between jack mackerel Trachurus japonicus and jellyfish*. Hydrobiologia 616: 269-277.
32. National Research Council of The National Academies. 2012. *Climate Change. Evidence, Impacts and Choices*. United States. 36 pp.
33. NASA/GISTEMP Team. 2025. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies. En: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (consultado el 01/07/2025).
34. Needleman, R.K., I.P. Neylan y T.B. Erickson. 2018. *Environmental and Ecological Effects of Climate Change on Venomous Marine and Amphibious Species in the Wilderness*. Wilderness and Environmental Medicine 29 (3): 343-356.
35. O'Connor, R. 2025. *Kayaker Puts Camera in Water—Horror As She Sees What's Lurking Beneath Her*. Newsweek. En: <https://www.newsweek.com/kayaker-puts-camera-waterhorror-she-sees-whats-lurking-beneath-her-2088299> (consultado el 01/07/2025).

36. Pauly, D., W. Graham, S. Libralato, L. Morissette y M.L.D. Palomares. 2009. *Jellyfish in ecosystems, online databases, and ecosystem models*. Hydrobiologia 616: 67–85.
37. Pitt, K.A., D.T. Welsh y R.H. Condon. 2009. *Influence of jellyfish blooms on carbon, nitrogen and phosphorous cycling and plankton production*. Hydrobiologia 616: 133–149.
38. Pitt, K.A., C.M. Duarte, C.H. Lucas, K.R. Sutherland, R.H. Condon, H. Mianzan, J.E. Purcell, K.L. Robinson y S.-I. Uye. 2013. *Jellyfish Body Plans Provide Allometric Advantages beyond Low Carbon Content*. PLoS ONE 8(8): e72683.
39. Pitt, K.A., A.C. Budarf, J.G. Browne y R.H. Condon. 2014. *Bloom and Bust: Why Do Blooms of Jellyfish Collapse?* 79-103. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). *Jellyfish blooms*. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
40. Purcell, J.E., D. Atienza, V. Fuentes, A. Olariaga, U. Tilves, C. Colahan y J.-M. Gili. 2012. *Temperature effects on asexual reproduction rates of scyphozoan species from the northwest Mediterranean Sea*. Hydrobiologia 690: 169-180.
41. Samaraweera, V.D. y D.C.T. Dissanayake. 2022. *Use of Jellyfish as a potential organic fertilizer and its effect on the growth of okra, Abelmoschus esculentus*. Ceylon Journal of Science 51 (3): 299-306.
42. Schiariti, A., A.C. Morandini, G. Jarms, R. von Glaehn Paes, S. Franke y H. Mianzan. 2014. *Asexual reproduction strategies and blooming potential in Scyphozoa*. Marine Ecology Progress Series 510: 241–253.
43. Thein, H., H. Ikeda y S. Uye. 2012. *The potential role of podocysts in perpetuation of the common jellyfish Aurelia aurita s.l. (Cnidaria: Scyphozoa) in anthropogenically perturbed coastal waters*. Hidrobiologia 690: 157–167.
44. Thein, H., H. Ikeda y S. Uye. 2013. *Ecophysiological characteristics of podocysts in Chrysaora pacifica (Goette) and Cyanea nozakii Kishinouye (Cnidaria: Scyphozoa: Semaestomeae): effects of environmental factors on their production, dormancy and excystment*. Journal of experimental marine biology and ecology 446: 151–8.
45. Thomas, A., A. Ramkumar y A. Shanmugam. 2022. *CO₂ acidification and its differential responses on aquatic biota – a review*. Environmental Advances 8: 100219.
46. Ummenhofer, C.C. y G.A. Meehl. 2017. *Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review*. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences 372: 20160135.
47. Uye, S.-I. 2014. *The giant jellyfish Nemopilema nomurai in East Asian marginal Seas*. 185-205. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). *Jellyfish blooms*. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.

48. Winans, A.K. y J.E. Purcell. 2010. *Effects of pH on asexual reproduction and statolith formation of the scyphozoan Aurelia labiata*. Hydrobiologia 645 (1): 39-52.

Fuentes de las figuras

- Ghazouani, S. 2016. *Linear optimization models for the simultaneous design of mass and heat networks of an eco-industrial park*. Tesis de doctorado. Université de recherche Paris sciences et lettres. Francia. 204 pp.
- HEPCA. 2011. *Jellyfish bloom-outbreak*. En: <https://www.hepca.org/news/jellyfish-bloom-outbreak-#> (consultado el 27/05/2025).
- Loctier, D. y Euronews. 2024. *Jellyfish: if you can't beat them, eat them?* Euronews. En: <https://www.euronews.com/green/2024/07/30/jellyfish-if-you-cant-beat-them-eat-them> (consultado el 27/05/2025).
- McCall, R. 2020. *Thousands of Pink Jellyfish Seen in the Philippines as Tourists Desert Beaches Amid Coronavirus Crisis*. Newsweek. En: <https://www.newsweek.com/pink-jellyfish-philippines-tourists-beaches-coronavirus-1495562> (consultado el 01/07/2025).
- NASA, 2025. *Climate change – Evidence*. En: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/evidencia/> (consultado el 04/07/2025).
- NASA/GISTEMP. 2025. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies. En: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>. (consultado el 01/07/2025).
- Shiffman, D. 2022. *What causes a jellyfish bloom?* Scuba Diving magazine. En: <https://www.scubadiving.com/what-causes-jellyfish-bloom> (consultado el 26/05/2025).
- Uye, S.-I. 2014. *The giant jellyfish Nemopilema nomurai in East Asian marginal Seas*. 185-205. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). *Jellyfish blooms*. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.

Cita

Reza, M. Medusas ante el cambio climático: reproducción, blooms y aprovechamiento. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 134-155.

<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0009>

Sometido: 27 de mayo de 2025

Aceptado: 9 de septiembre de 2025

Editora asociada: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Kelp Forests of Baja California: Habitat and Food for Abalone

Bosques submarinos de Baja California: hábitat y alimento del abulón

Elisa Serviere-Zaragoza¹, Alejandra Mazariegos-Villarreal¹,
Elena Palacios-Metchenov², Lía C. Méndez-Rodríguez³

Resumen

En las costas del Pacífico mexicano los bosques formados por macroalgas son ecosistemas submarinos de gran riqueza biológica. Estos hábitats desempeñan un papel fundamental como refugio y fuente de alimento para una amplia variedad de organismos, entre ellos el abulón, un molusco de gran importancia ecológica, comercial y cultural en la península de Baja California. En este manuscrito se resumen principalmente las contribuciones realizadas por las autoras, en colaboración con investigadores de distintas instituciones y disciplinas, enfocadas en el estudio de la interacción entre las macroalgas y el abulón.

Palabras clave

Abulón amarillo, abulón azul, *Eisenia arborea*, *Macrocystis pyrifera*.

¹Laboratorio de Macroalgas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Calle IPN #195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. 23096, México

²Laboratorio de Metabolismo de Lípidos. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Calle IPN #195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. 23096, México

³Laboratorio de Biogeoquímica Marina. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Calle IPN #195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. 23096, México

*Autor de correspondencia: serviere04@cibnor.mx, CIBNOR. Tel. +52 612 123 8484



Abstract

Along the coast of Mexican Pacific, kelp forests are underwater ecosystems rich in biological diversity. These habitats play a crucial role as shelter and a source of food for a wide variety of organisms, including abalone—a mollusk of great ecological, commercial, and cultural importance in the Baja California Peninsula. This manuscript primarily summarizes the contributions made by the authors, in collaboration with researchers from various institutions and disciplines, focused on studying the interaction between macroalgae and abalone.

Key words

Pink abalone, green abalone, *Eisenia arborea*, *Macrocystis pyrifera*.

Introducción

Desde sus primeras etapas de vida, los abulones enfrentan el desafío de encontrar un alimento adecuado para crecer y desarrollarse saludablemente. Como sucede con muchos organismos marinos, su dieta cambia conforme van creciendo, por eso es fundamental conocer qué comen tanto los abulones jóvenes como los adultos para entender cómo viven y cómo se comportan sus poblaciones. Esta información es esencial no solo para cuidar sus hábitats naturales, sino también para la implementación de estrategias óptimas de manejo y cultivo. En este contexto, la relación entre los abulones y las macroalgas, que forman la base de su alimentación en distintas etapas de su vida, es el tema central de este trabajo. En este manuscrito se presentan principalmente las contribuciones de las autoras, realizadas en colaboración con investigadores de diversas instituciones y disciplinas, enfocadas en el estudio de la interacción entre las macroalgas y el abulón.

Bosques submarinos

En el medio marino existen densas poblaciones de algas macroscópicas, conocidas como macroalgas, que crecen fijas al sustrato (es decir, son bentónicas), como el sargazo gigante *Macrocystis pyrifera*. Estas poblaciones desempeñan un papel fundamental en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Fig. 1). Estos extensos bosques submarinos conforman un hábitat complejo en el que habitan numerosas especies de animales marinos, incluidos moluscos, crustáceos y peces. Algunas de estas especies se alimentan directamente de los tejidos de las macroalgas, mientras que otras obtienen su alimento del material resultante de su descomposición, conocido como detritos. Las frondas de las macroalgas proporcionan un sustrato ideal para la fijación de numerosos organismos sésiles, mientras que sus discos basales sirven como refugio para una gran diversidad de pequeños animales (Scagel *et al.*, 1986).

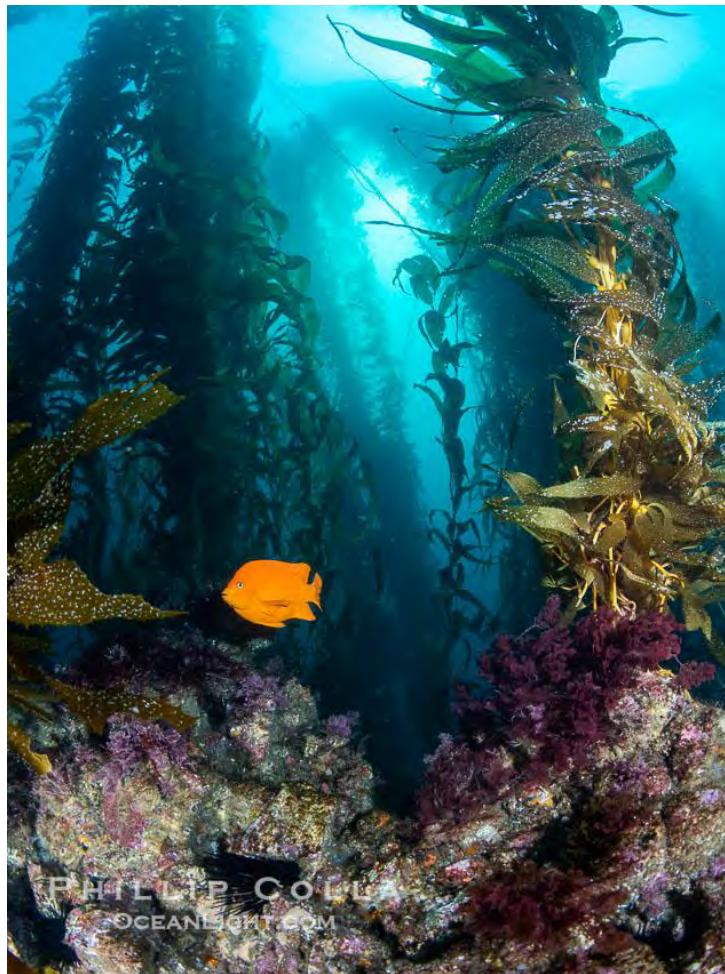


Figura 1. Bosques de *Macrocystis pyrifera* y macroalgas creciendo en el fondo.
Fuente: Phillip Colla /Oceanlight.com.

En la costa occidental de la península de Baja California, los bosques de *Macrocystis pyrifera* constituyen el componente dominante del paisaje marino, extendiéndose desde la frontera con Estados Unidos hasta Punta Asunción, y ocasionalmente hasta Punta San Hipólito (27°N; Dawson, 1951). En los ecosistemas formados por el alga gigante *M. pyrifera*, junto con las macroalgas que crecen bajo su dosel, se constituye una fuente importante de alimento para diversas especies que integran la comunidad marina, como los caracoles *Agathistoma eiseni* (antes *Tegula eiseni*), *Megastrea undosa*, *Paciocinebrina foveolata* (antes *Ocenebra foveolata*), *Tegula aureotincta*, así como los abulones del género *Haliotis* (Guzmán del Prío et al., 1991; Fig. 2). En esta región, las especies de abulón más comunes son *Haliotis corrugata* (abulón amarillo), *H. cracherodii* (abulón negro), *H. fulgens* (abulón azul), *H. rufescens* (abulón rojo) y *H. sorenseni* (abulón blanco), siendo el abulón azul la principal especie explotada en la pesquería de abulón en México (Morales-Bojórquez et al., 2008).



Figura 2. Caracoles de comunidades asociadas a *Macrocystis pyrifera*.
a) *Megastrea undosa*, b). *Agathistoma eiseni* (como *Tegula eiseni*).
Fuente: Teodoro Reynoso-Granados.

En la costa occidental de Baja California, las macroalgas más comunes en los hábitats donde habitan los abulones incluyen algas pardas como *Macrocystis pyrifera*, *Eisenia arborea* y otras especies del orden Laminariales. Entre las algas rojas se encuentran los géneros *Gelidium*, *Acrosorium* y *Plocamium*; así como corallinas articuladas, como *Bossiella orbigniana*, *Corallina officinalis* y *C. pinnatifolia*, además de corallinas costrosas pertenecientes a los géneros *Lithothamnium* y *Lithophyllum*. Asimismo, es frecuente la presencia del pasto marino *Phyllospadix torreyi*, una planta marina con hojas largas y delgadas que crece en zonas poco profundas y arenosas (Guzmán del Prío *et al.*, 1972; 1991). Mientras que, en la costa occidental de Baja California Sur, las macroalgas predominantes en los ambientes donde se encuentran los abulones incluyen las algas pardas *Stephanocystis osmundacea* (antes *Cystoceira osmundacea*), *Eisenia arborea*, *Sargassum sinicola* y *Spatoglossum howelli*, así como algas rojas como *Corallina officinalis* var. *chilensis*, *C. vancouveriensis*, *Cryptopleura crista*, *Gelidium robustum*, *Plocamium cartilagineum* y *Prionitis lanceolata* (Serviere-Zaragoza *et al.*, 2003).

Dieta natural de abulones

La dieta de los abulones cambia considerablemente a lo largo de su desarrollo, adaptándose a sus necesidades y al entorno disponible en cada etapa. La dieta de las postlarvas y juveniles tempranos de abulón, de entre 5 y 10 mm de tamaño, está compuesta principalmente por diatomeas, películas bacterianas y esporas de macroalgas (Kawamura *et al.*, 1998). En el contenido estomacal de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) y de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*), con talla menor a 50 mm, que habitan en la costa occidental de la península de Baja California Sur, se identificaron abundantes diatomeas, incluyendo especies como *Berkeleya fennica*, *Cocconeis speciosa*, *Cocconeis costata* var. *pacifica*, *Gomphonemopsis pseudexigua*, *Grammatophora marina*, *Navicula parva*, *Tabularia investiens* y *Thalassionema nitzschioides*. Estos hallazgos sugieren que las diatomeas son un componente importante en la dieta de los juveniles que miden más de 10 mm de tamaño (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2005). Asimismo, se registró la presencia de macrófitas, como algas pardas del orden Dictyotales, algas rojas del género *Laurencia* y el pasto marino *Phyllospadix torreyi*, que también forman parte común de la dieta de los juveniles de abulón azul y amarillo (Guzmán del Prío *et al.*, 2003).

Los abulones comienzan a alimentarse de macroalgas cuando alcanzan un tamaño mayor a 10 mm (Cox, 1962). Las algas pardas y rojas son su principal fuente de alimento, mientras que las algas verdes lo son en menor medida (Shepherd y Steinberg, 1992). En la costa occidental de Baja

California, México, *Macrocystis pyrifera* se considera una fuente alimenticia clave para las especies locales de abulón (Guzmán del Prío et al., 1972; Leighton, 1989). Sin embargo, hay dos especies de abulón que se distribuyen aproximadamente 600 km al sur del límite geográfico de *M. pyrifera*, hasta la región de Bahía Magdalena, Baja California Sur, donde el alga parda *Eisenia arborea* predomina en la flora marina y es una fuente importante de alimento para los abulones (Fig. 3, 4). En esta área, aunque el abulón azul consume una gran variedad de macrofitas, las especies más frecuentemente ingeridas son dos macroalgas pardas, *Sargassum* sp. y *Eisenia arborea*; dos macroalgas rojas, *Cryptopleura crista* y *Rhodomenia*, así como el pasto marino *Phyllospadix torreyi* (Serviere et al., 1998). La abundancia de estas macrofitas en la dieta de los abulones parece estar estrechamente relacionada con la disponibilidad de las algas en cada localidad.



Figura 3. Macroalga parda *Eisenia arborea*.
Fuente: Elisa Serviere-Zaragoza.

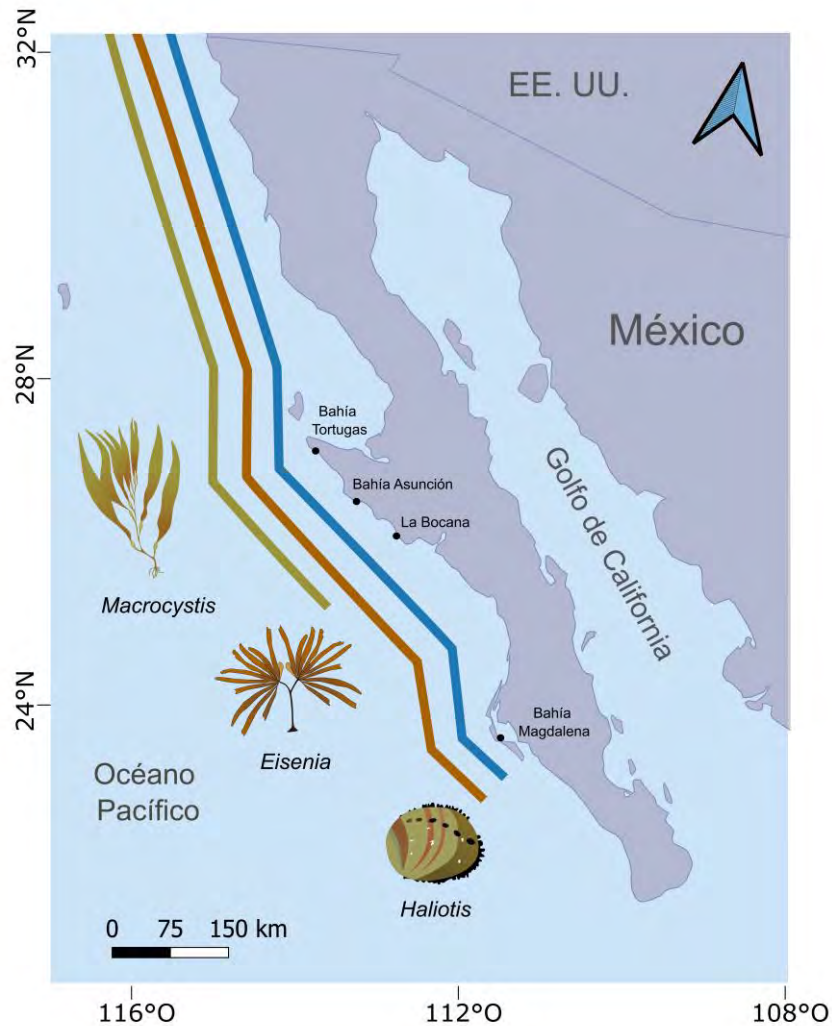


Figura 4. Distribución de las macroalgas *Macrocytis pyrifera* (línea verde olivo) y *Eisenia arborea* (línea naranja) y del abulón (línea azul) en la costa occidental de Baja California. Fuente: Elaboración propia. Cecilia Odette Carral Murrieta.

Por otra parte, las variaciones en las condiciones ambientales, como el aumento en la temperatura del agua de mar, afectan la presencia y abundancia de las macrofitas, lo que influye directamente en la dieta de los abulones. Durante los eventos de incremento anómalo de temperatura —es decir, temperaturas que se encuentran fuera de los rangos normales o esperados para la zona o la temporada—, como los asociados al fenómeno de *El Niño*, las especies de macroalgas que consumen los abulones cambian en comparación con las que forman parte de su dieta en períodos anteriores y posteriores a dichos eventos. Por ejemplo, los abulones adultos durante el evento de *El Niño* 1997-1998 presentaron una dieta diferente en comparación con los abulones capturados antes y después de este evento (Mazariegos-Villarreal *et al.*, 2012). Antes del evento, los principales componentes de la dieta del abulón azul eran las macroalgas pardas *Stephanocystis osmundacea* y *Macrocytis pyrifera*, así como el pasto marino *Phyllospadix torreyi*. En contraste, durante y después del evento de *El Niño* 1997-1998, la dieta incluyó principalmente macroalgas pardas como *S.*



osmundacea, *Dictyota* sp., *Sargassum* sp. y *Spatoglossum howelli*, además de macroalgas rojas del género *Gelidium* y el pasto marino *P. torreyi* (Mazariegos-Villarreal et al., 2012).

Se han realizado estudios de laboratorio para evaluar el crecimiento de juveniles de abulón azul alimentados con distintas macroalgas y bajo diferentes condiciones de temperatura. En estos experimentos se compararon dos especies de macroalgas—*Macrocystis pyrifera* y *Eisenia arborea*—como alimento, variando la temperatura para simular condiciones asociadas a años con y sin la presencia del fenómeno de *El Niño*. Los resultados mostraron que, bajo temperaturas elevadas típicas de *El Niño*, el crecimiento de los abulones fue mayor cuando se alimentaron con *M. pyrifera* (Ponce-Díaz et al., 2004). Sin embargo, en el medio natural, durante eventos particularmente severos, el aumento de la temperatura reduce la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, lo que afecta negativamente el reclutamiento y la supervivencia de *M. pyrifera*. Hernández-Carmona et al. (2001) documentaron que el declive de *Macrocystis* cerca de su límite sur en Baja California está relacionado con la interacción entre la baja disponibilidad de nitrógeno y las temperaturas elevadas durante condiciones de *El Niño*. Ante esta situación, los abulones recurren a otras macroalgas como *E. arborea*, cuyo valor nutricional puede ser menor, lo que se refleja en una menor tasa de crecimiento y en cambios en la composición bioquímica del abulón (Ponce-Díaz et al., 2004).

Crecimiento de abulones alimentados con macroalgas

En las granjas acuícolas de California, Baja California y Baja California Sur, se utilizan principalmente tres especies de macroalgas pardas como alimento para el cultivo de abulón: *Egregia menziesii*, *Macrocystis pyrifera* y *Nereocystis luetkeana* (McBride, 1998). En California, *M. pyrifera* ha demostrado ser un alimento adecuado para los juveniles de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), aunque no resulta tan eficaz para el abulón azul (Leighton, 1989). Por su parte, *E. menziesii* es consumida eficientemente por ambas especies y es la dieta preferida para el abulón azul en cultivo (Leighton et al., 1981).

En México, los requerimientos nutricionales del abulón en cultivo pueden satisfacerse alimentándolos con las algas *Macrocystis pyrifera* o *Eisenia arborea*, dependiendo de cuál esté disponible en las cercanías de cada granja. Por ejemplo, en la Unidad de Producción de abulón azul “Ocean. Daniel Aguilar Osuna”, ubicada en La Bocana, Baja California Sur, los abulones se alimentan principalmente de *E. arborea*, complementando su dieta con pellets elaborados a base de *M. pyrifera* (D. Aguilar, com. per., 3 octubre 2024) [Fig. 5]. Generalmente, la disponibilidad de estas macroalgas

ha sido suficiente durante todo el año para la acuicultura del abulón. Sin embargo, durante los eventos asociados al fenómeno de *El Niño*, las poblaciones de *M. pyrifera* pueden disminuir drásticamente o desaparecer, lo que representa un desafío para que los productores puedan mantener sus cultivos (McBride, 1998; Ladah *et al.*, 1999).



Figura 5. Unidad de Producción para la engorda de abulón azul (*Haliotis fulgens*) “Ocean. Daniel Aguilar Osuna”. La Bocana, Baja California Sur.
Fuente: Domingo Aguilar, Elisa Serviere-Zaragoza.

El tipo de macroalga utilizada como alimento puede influir significativamente en el crecimiento, la eficiencia alimentaria y la composición bioquímica de los abulones. En algunos experimentos realizados con juveniles de abulón azul, se observó un mayor crecimiento en aquellos alimentados con las algas pardas *Macrocystis pyrifera*, *Egrecia menziesii* y con el alga roja *Porphyra perforata*. En contraste, los juveniles que consumieron el alga verde *Ulva* sp., la alga parda *Eisenia arborea*, la alga roja *Gelidium robustum* y el pasto marino *Phyllospadix torreyi* mostraron un crecimiento más lento (Serviere-Zaragoza *et al.*, 2001; Pérez-Estrada *et al.*, 2011).

En general, se ha encontrado que el crecimiento limitado de los abulones cuando se alimentan exclusivamente de macroalgas se debe, en gran parte, a la baja disponibilidad de ciertos nutrientes



esenciales o a una proporción inadecuada entre proteína y energía en su dieta. Aunque las macroalgas son ricas en carbohidratos —que funcionan como reserva energética—, su contenido en proteínas suele ser bajo, lo cual representa una limitante, ya que las proteínas son fundamentales para el desarrollo y crecimiento de estos moluscos (Serviere-Zaragoza *et al.*, 2001; Pérez-Estrada *et al.*, 2011). Al comparar el contenido proteico de las macroalgas presentes en la costa occidental de Baja California, se ha encontrado que el alga roja *Gelidium robustum* presenta niveles significativamente mayores de proteína (18.1 % a 20.9 %), en comparación con las algas pardas *Eisenia arborea* (10.7 % a 14.9 %), *Macrocystis pyrifera* (8.4 % a 14.2 %) y el pasto marino *Phyllospadix torreyi* (11.7 % a 13.5 %) (Serviere-Zaragoza *et al.*, 2002). Además, investigaciones previas han identificado la presencia de enzimas digestivas en los abulones que les permiten aprovechar las proteínas presentes en su dieta (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1997; Picos-García *et al.*, 2000; García-Carreño *et al.*, 2003).

Recientemente, se ha analizado cómo la alimentación de los juveniles de abulón influye en su crecimiento y en la cantidad de grasas (también llamadas lípidos) que acumulan en su cuerpo (Palacios-Mechetnov *et al.*, 2025). Para ello, se ofrecieron a los abulones distintos tipos de algas marinas: *Ulva lactuca*, *Eisenia arborea*, *Macrocystis pyrifera*, *Gelidium robustum* y el pasto marino *Phyllospadix torreyi*. Los resultados mostraron que los abulones alimentados con *M. pyrifera* y *E. arborea*, que contienen altos niveles de ácido araquidónico (un tipo de lípido benéfico), presentaron un mayor crecimiento en comparación con los demás. Esto sugiere que ciertos lípidos presentes en las algas pueden favorecer su desarrollo. Por otro lado, algunos tipos de lípidos presentes en mayor cantidad en *G. robustum* y *P. torreyi*, asociados a la presencia de bacterias, podrían afectar negativamente el crecimiento y la supervivencia de los abulones. No obstante, también se observó una mayor supervivencia en los abulones alimentados con algas pardas (como *M. pyrifera* y *E. arborea*) y con el alga roja *G. robustum*. Estas dietas contienen compuestos que indican la presencia de microalgas y bacterias propias del tracto digestivo, las cuales podrían estar beneficiando la salud de los abulones. Por ejemplo, las diatomeas (un tipo de microalga) que crecen en las frondas de *M. pyrifera* pueden ser ingeridas por los abulones mientras se alimentan de esta alga. También pueden obtenerlas al raspar las rocas, donde estas microalgas suelen desarrollarse (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2001, 2002). Algunos ácidos grasos (componentes de los lípidos) y esteroides (moléculas derivadas del colesterol), están presentes en las células vegetales y funcionan como “huellas químicas” o biomarcadores, que ayudan a identificar a qué grupo pertenece cada alga. Sin embargo, dado que estos compuestos pueden variar de un año a otro, incluso en la misma especie y lugar, resulta difícil interpretar con precisión su contribución real a la dieta de los animales marinos que

las consumen (Serviere-Zaragoza *et al.*, 2015, 2021). Aún se requieren más estudios para seleccionar las macroalgas más adecuadas para cada especie de abulón, considerando su etapa de desarrollo y las condiciones específicas del cultivo, con el objetivo de mejorar tanto su bienestar y crecimiento como la calidad del producto final que llega al consumidor.

Consideraciones finales y perspectivas

Los bosques de macroalgas de la costa occidental de la península de Baja California constituyen un componente fundamental del hábitat del abulón, ya que le proporcionan refugio y alimento. La diversidad y disponibilidad de estas macroalgas no solo determinan la composición de la dieta del abulón, sino que también influyen directamente en su tasa de crecimiento, condición fisiológica y supervivencia.

No obstante, la estructura y composición de macrófitos de estos ecosistemas marinos pueden variar debido a la variabilidad climática natural o a eventos extremos, como los asociados al fenómeno de *El Niño*, lo cual altera significativamente la disponibilidad de alimento. Estas alteraciones tienen consecuencias tanto ecológicas como productivas, afectando a las poblaciones silvestres y a las de cultivo. Por ello, resulta fundamental profundizar en el conocimiento de las interacciones entre el abulón y los bosques de macroalgas mediante el monitoreo constante de las condiciones oceanográficas y la disponibilidad de alimento.

Asimismo, se requieren estudios experimentales que permitan entender cómo distintas dietas influyen en el desarrollo y condición del abulón. Este conocimiento es esencial para diseñar y establecer estrategias de manejo pesquero y acuícola basadas en evidencia, que no solo optimicen la producción, sino que también contribuyan a la conservación de los ecosistemas marinos que sustentan a estas especies de alto valor ecológico y económico.



Agradecimientos

A la Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera Baja California, FCL, (FEDECOOP), y a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera afiliadas que operan en la costa occidental de la Península de Baja California, México por el apoyo y facilidades brindadas para las investigaciones sobre macroalgas – abulón.

Referencias

- Cox, K.W. 1962. California abalones, family Haliotidae. The Resources Agency of California Department of Fish and Game. Fish Bulletin 118.
- Dawson, E. Y. 1951. *A further study of upwelling and associated vegetation along Pacific Baja California, México*. Journal of Marine Research 10: 39–58.
- García-Carreño, F.L., M.A. Navarrete del Toro y E. Serviere-Zaragoza. 2003. *Digestive enzymes in juvenile green abalone, Haliotis fulgens, fed natural food*. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology 134 (1): 143–150.
- Guzmán del Prío, S.A., S. de la Campa y B.J. Pineda. 1972. *Flora macroscópica asociada a los bancos de abulón (Haliotis spp.) en algunas áreas de la costa occidental de Baja California*. Memorias IV Congreso Nacional de Oceanografía. pp. 257–263.
- Guzmán del Prío, S.A., P.S.R. Mille, G.R. Guadarrá, G.S. de la Campa, L.J. Carrillo, C.A. Pereira, P.J. Belmar, A.M.J. Parra y G.A. C.Luque. 1991. *La comunidad bentónica de los bancos de abulón (Haliotis spp. Mollusca: gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México*. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas 36: 27–59.
- Guzmán del Prío, S.A., E. Serviere-Zaragoza y D.A. Siqueiros Beltrones. 2003. *Natural diet of juvenile abalone Haliotis fulgens and H. corrugata (Mollusca: Gastropoda) in Bahia Tortugas, Mexico*. Pacific Science 57 (3): 319–324.
- Hernández-Carmona, G., D. Robledo y E. Serviere-Zaragoza. 2001. Effect of nutrient availability on *Macrocystis pyrifera* California. Botanica Marina 44: 221–229.
- Kawamura, T., D.R. Roberts y H. Takami. 1998. *A review of the feeding and growth of postlarval abalone*. Journal of Shellfish Research 17 (3): 615–625.

- Ladah, L. B., A. Zertuche-González y G. Hernández-Carmona. 1999. *Giant kelp (Macrocystis pyrifera Phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997–1998*. Journal of Phycology 35: 1106–1112.
- Leighton, D.L. 1989. *Abalone (genus Haliotis) mariculture on the North American Pacific Coast*. Fishery Bulletin 87: 689–702.
- Leighton, D.L., M.J. Byhower, J.C. Kelly, G.N. Hooker y D.E. Morse. 1981. *Acceleration of development and growth in young green abalone (Haliotis fulgens) using warmed effluent seawater*. Journal of the World Mariculture Society 12 (1): 170–180.
- McBride, S.C. 1998. *Current status of abalone aquaculture in the Californias*. Journal of Shellfish Research 17 (3): 593–600.
- Mazariegos-Villarreal, A., M. Casas-Valdez, D.A. Siqueiros-Beltrones, A. Piñon-Gimate y E. Serviere-Zaragoza. 2012. *Changes in the natural diet of green abalone Haliotis fulgens during the 1997 to 1998 El Niño event in Baja California Sur, Mexico*. Journal of Shellfish Research 31 (3): 795–800.
- Morales-Bojórquez, E., M.O. Muciño-Díaz y J.A. Vélez-Barajas. 2008. *Analysis of the decline of the abalone fishery (Haliotis fulgens and H. corrugata) along the westcentral coast of the Baja California peninsula, Mexico*. Journal of Shellfish Research 27: 865–870.
- Palacios-Mechetnov, E., A. Pérez-Juárez, O.A. López-Verdugo, O. Arjona, A. Mazariegos-Villarreal y E. Serviere-Zaragoza. 2025. *Growth and lipid composition of green abalone (Haliotis fulgens Philippi) fed different macroalgae and a seagrass*. Aquaculture International 33(4): 1–22.
- Pérez-Estrada, C.J., R. Civera-Cerecedo, A. Hernández-Llamas y E. Serviere-Zaragoza. 2011. *Growth and biochemical composition of juvenile green abalone Haliotis fulgens fed rehydrated macroalgae*. Aquaculture Nutrition 17(2): e62–e69.
- Picos-García, C., F.L. García-Carreño y E. Serviere-Zaragoza. 2000. *Digestive proteases in juvenile Mexican green abalone, Haliotis fulgens*. Aquaculture 181 (1-2): 157–170.
- Ponce-Díaz, G., E. Serviere-Zaragoza, I.S. Racotta, T. Reynoso-Granados, A. Mazariegos-Villarreal, P. Monsalvo-Spencer y D. Lluch-Belda. 2004. *Growth and tissue biochemical composition of Haliotis fulgens at elevated temperatures in Baja California under two dried brown algal diets*. Journal of Shellfish Research 23: 1051–1057.
- Scagel, R.F., R.J. Bandoni, J.R. Maze, G.E. Rouse, W.B. Schofield y J.R. Stein. 1986. *Plantas no vasculares*. Ediciones Omega. Barcelona. 548 pp.



- Serviere-Zaragoza, E., M.A. Navarrete del Toro y F.L. Garcia-Carreno. 1997. *Protein-hydrolyzing enzymes in the digestive systems of the adult Mexican blue abalone, Haliotis fulgens Gastropoda*. Aquaculture 157: 325–336.
- Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López y G. Ponce-Díaz. 1998. *The natural diet of the green abalone (Haliotis fulgens Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents*. Journal of Shellfish Research 17:777–782.
- Serviere-Zaragoza, E., A. Mazariegos-Villarreal, G. Ponce-Díaz y S. Montes-Magallón. 2001. Growth of juvenile abalone, *Haliotis fulgens* Philippi, fed different diets. Journal of Shellfish Research 20: 689–693.
- Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López y G. Ponce-Díaz. 2002. Gross chemical composition of three common macroalgae and a sea grass on the Pacific coast of Baja California, Mexico. Hidrobiológica 12 (2): 113–118.
- Serviere-Zaragoza, E., V. García-Hernández y D.A. Siqueiros-Beltrones. 2003. *Diversity and distribution of macroalgae associated with abalone (Haliotis spp.) habitats in Baja California Sur*. Mexico Bulletin of Marine Science 12: 725–739.
- Serviere-Zaragoza, E., M.A. Hurtado, M. Manzano-Sarabia, A. Mazariegos-Villarreal, M. Reza, M., O. Arjona y E. Palacios. 2015. Seasonal and interannual variation of fatty acids in macrophytes from the Pacific coast of Baja California Peninsula (Mexico). Journal of Applied Phycology 27: 1297–1306.
- Serviere-Zaragoza, E., M.A. Hurtado-Oliva, A. Mazariegos-Villarreal, O. Arjona y E. Palacios. 2021. Seasonal and interannual variation of sterols in macrophytes from the Pacific coast of Baja California Peninsula (Mexico). Phycological Research 69(1): 41–47.
- Shepherd, S.A. y P.D. Steinberg. 1992. *Food preferences of three Australian abalone species with a review of the algal food of abalone*. pp. 169–181. En: Shepherd, S.A., M.J. Tegner, y S.A. Guzmán del Prío, S.A. (Eds.). Abalone of the World: Biology, fisheries and culture. Fishing New Books, Oxford, UK.
- Siqueiros-Beltrones, D.A., E. Serviere-Zaragoza y U. Argumedo-Hernández. 2001. First record of the diatom *Cocconeis notata* Petit living inside the hydrotheca of a hydrozoan epiphyte of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag. Oceanides 16:135–138.
- Siqueiros Beltrones, D.A., E. Serviere Zaragoza y U. Argumedo Hernández. 2002. Epiphytic diatoms of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. AG. from the Baja California Península, México. Oceanides 17(1):31–39.

Siqueiros-Beltrones, D.A., E. Serviere-Zaragoza y S. Guzmán del Prío. 2005. *Main diatom taxa in the natural diet of juvenile Haliotis fulgens and H. corrugata (Mollusca: Gastropoda) from Bahía Tortugas and Bahía Asunción, B.C.S., Mexico*. Pacific Science 59:581–592.

Cita

Serveiere-Zaragoza E., A. Mazariegos-Villarreal, E. Palacios-Metchenov y L.C. Méndez-Rodríguez. Bosques submarinos de Baja California: hábitat y alimento del abulón. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 157-171. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0010>

Sometido: 28 de mayo de 2025

Aceptado: 17 de julio de 2025

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrasco.

Life on the rocks: the growth of the sea cockroach (*Chiton articulatus*) and its plasticity in response to phenomena such as El Niño and La Niña

Vida sobre las rocas: el crecimiento de la cucaracha de mar (*Chiton articulatus*) y su plasticidad ante fenómenos como El Niño y La Niña

Carlos Valencia-Cayetano¹, Juana López-Martínez²,
Sergio García-Ibáñez¹, Jesús Guadalupe Padilla-Serrato^{1,3*}

Resumen

El quitón *Chiton articulatus*, conocido como “cucaracha de mar”, es un tipo de molusco que es solo encontrado en las costas rocosas intermareales del Pacífico mexicano. Este organismo, caracterizado por sus ocho placas superpuestas, tiene un importante valor ecológico, cultural y comercial en comunidades costeras a lo largo de su distribución. Aquí describimos los últimos hallazgos en torno a la cucaracha de mar, específicamente sobre su reclutamiento continuo durante el año, así como su plasticidad de crecimiento en respuesta a fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. Aunque aún persisten muchas interrogantes sobre los límites de esta adaptabilidad frente a escenarios de cambio climático, estos nuevos descubrimientos son cruciales para desarrollar estrategias efectivas de gestión y conservación de la especie.

Palabras clave: Reclutamiento, *Mollusca*, Pesca de moluscos, Quitón

¹Facultad de Ecología Marina (FEM), Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), Acapulco, Guerrero, México.

²Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR), Guaymas, Sonora. *e-mail: jlopez04@cibnor.mx

³Programa de Investigadoras e Investigadores por México, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Ciudad de México, México.

⁴Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), Chilpancingo, Guerrero, México.

*Autor de correspondencia: jgpadillaserrato@gmail.com



Abstract

The chiton *Chiton articulatus*, locally known as the “cucaracha de mar” in coastal communities, is a type of mollusk that is only found in the rocky areas along the Pacific coast of Mexico. This organism has eight overlapping plates and is important to the environment, culture, and economy of coastal communities where it is found. Here we describe the latest findings on this chiton species, specifically on its continuous recruitment throughout the year, as well as its growth plasticity in response to climatic phenomena such as El Niño and La Niña. While there are still many questions about how well this adaptability can handle climate change, these new findings are very important for creating effective management and conservation strategies for the species.

Key words: Recruitment, *Mollusca*, Shell-fishery, Chiton

Introducción

Imagina por un momento a un pequeño molusco aferrado a las rocas de la costa, desafiando las olas y adaptándose al vaivén del océano. En estas zonas rocosas habita una gran variedad de organismos marinos, pero hoy concentraremos nuestra atención en el quitón, conocido coloquialmente como “cucaracha de mar”. Este peculiar habitante de las zonas rocosas intermareales del océano Pacífico mexicano lleva por nombre científico *Chiton articulatus* (Figura 1).



Figura 1. Representación de ejemplares de *Chiton articulatus*, “La cucaracha de mar” en diferentes estadios de crecimiento en una ilustración de su hábitat natural. Nota como el intermareal rocoso está expuesto a un fuerte oleaje constante donde vive la cucaracha de mar.

La cucaracha de mar es en realidad un miembro del grupo de los moluscos y forma parte de la clase poliplacófora o quitones, como se les conoce popularmente. Estos organismos son parte de un grupo biológico que ha existido por más de 500 millones de años, es decir, mucho tiempo antes de la existencia de los dinosaurios, ¿lo puedes creer? Los quitones tienen una apariencia única que los distingue de otros moluscos marinos. Se caracterizan por tener un cuerpo ovalado y plano, cubierto por ocho placas superpuestas que les dan un aspecto distintivo. Estos organismos viven adheridos a las rocas en las zonas intermareales, donde están expuestas al oleaje intenso todo el tiempo.

Por todas las razones anteriores, hoy la cucaracha de mar es la protagonista de esta historia. Esta es una especie endémica del Pacífico tropical mexicano, lo que significa que está limitada geográficamente a un rango que abarca desde el estado de Sinaloa hasta Oaxaca, México. La especie es de suma importancia, pues es parte de la cadena alimenticia en la zona intermareal rocosa y, además, tiene un valor comercial significativo, pues es recolectada y consumida por comunidades humanas costeras desde hace mucho tiempo. De hecho, actualmente a las personas les encanta comer el pie musculoso de la cucaracha de mar—aunque el nombre no es mucho de su agrado—que es la parte comestible de estos animales y con el cual se preparan diversos y succulentos platillos. Si te cuesta ubicar a este grupo de moluscos, piensa en los ostiones y caracoles



que acompañan a un coctel de mariscos, aunque su sabor y textura no son muy similares, dado que es crocante y con un sabor más delicado. Así que, en las siguientes líneas, te invitamos a sumergirte en el mundo de los quitones y descubrir como los científicos están desentrañando los misterios y aumentando el conocimiento sobre este grupo de organismos marinos tan interesante.

Un reclutamiento continuo

La cucaracha de mar tiene sexos separados. Su estrategia de reproducción es algo simple: ambos sexos liberan células reproductivas (espermatozoides y óvulos) directamente al agua del mar, donde ocurre la fertilización, sin necesidad del contacto físico entre los individuos. El ciclo de vida de la especie incluye una fase larval planctónica de aproximadamente 6 días (duración inferida a partir de otras especies de quitones) (Aguilar-Rendon et al., 2025), durante la cual las larvas se dispersan en la columna de agua antes de asentarse en las rocas intermareales para iniciar su vida bentónica. Una vez en su hábitat, los organismos asentados pueden vivir entre 2 hasta 7 años dependiendo de las condiciones ambientales (Avila-Poveda et al., 2020; Valencia-Cayetano et al., 2024b). Uno de los hallazgos más interesantes hasta el momento es que pequeños quitones aparecen constantemente a lo largo del año, algo que denominan reclutamiento continuo (Valencia-Cayetano et al., 2024b; Figura 2). Esto significa que la cucaracha de mar se reproduce y añade nuevos individuos a su población de manera continua, en lugar de hacerlo en momentos específicos. Esta estrategia de reclutamiento continuo es como tener una reserva constante de jugadores en un equipo deportivo, asegurando que en todo momento hay nuevos miembros para reemplazar a los que se retiraron y/o son capturados por los pescadores o también conocidos como cucaracheros (Valencia-Cayetano et al., 2024a).



Figura 2. Ilustración de la cucaracha de mar de todas las edades y tamaños. Mira cómo hay quitones de diferentes tamaños adheridos a las rocas de la zona intermareal representando el reclutamiento continuo.

El Niño y La Niña: un juego de equilibrio entre crecimiento, tamaño y supervivencia

¿Alguna vez has escuchado hablar del fenómeno de “El Niño” y “La Niña”? Imagina por un momento que el océano Pacífico es un gran escenario de baile, donde las temperaturas cálidas y frías del agua de mar, son quienes protagonizan el baile. En este teatro marino, los dos fenómenos climáticos conocidos como El Niño y La Niña se turnan para robarse el protagonismo uno al otro; alternando en una danza que puede durar entre 9 a 12 meses, aunque en ocasiones estos bailes oceánicos se prolongan por años (NOAA, 2024).

Durante un evento de El Niño, las aguas del Pacífico ecuatorial se calientan más de lo habitual, lo que provoca cambios en los patrones de corrientes marinas, vientos y lluvia, afectando el clima a nivel mundial. Por otro lado, durante un evento de La Niña, las aguas se enfrían más de lo normal, lo que también produce cambios en los mismos factores.

En las costas mexicanas, El Niño suele traer consigo temperaturas más cálidas, lluvias intensas y un aumento en el nivel del mar. La Niña, en cambio, provoca condiciones más secas y frías. Estos cambios de temperatura tienen un impacto profundo en la vida marina, desde el plancton



microscópico hasta los peces más grandes y por supuesto, en nuestro protagonista, la cucaracha de mar.

Pero ¿qué sucede cuándo las condiciones ambientales cambian drásticamente, como sucede durante los eventos de El Niño y La Niña? —Aquí es donde la historia se vuelve aún más interesante. Los científicos descubrieron que, durante El Niño, cuando las temperaturas del océano aumentan, los quitones crecen más rápido, pero alcanzan un tamaño máximo menor y un tiempo de vida más corto (Avila-Poveda et al., 2020; Valencia-Cayetano et al., 2024b; Figura 3). Es como si estuvieran en una carrera contra el tiempo, acelerando su crecimiento, pero con un “techo” de crecimiento más bajo que limita tanto el tamaño que pueden alcanzar como su longevidad. Por otro lado, durante los períodos de La Niña, cuando las temperaturas son más frías, los quitones crecen más lentamente, pero su techo de crecimiento es mayor, permitiéndoles alcanzar tamaños más grandes y vivir más tiempo. A este techo de crecimiento los científicos lo conocen como crecimiento asintótico.

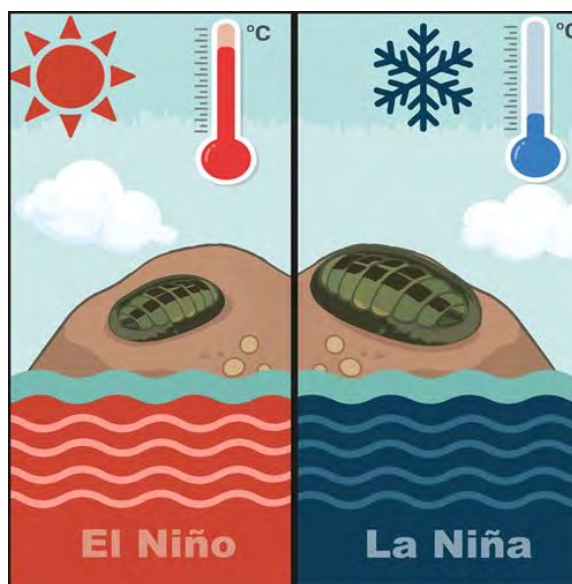


Figura 3. Ilustración que muestra el fenómeno de El Niño y La Niña. Nota el contraste entre cómo ambos fenómenos afectan de manera diferente el crecimiento de los quitones: crecer más rápido, pero alcanzar un tamaño máximo menor durante El Niño versus crecer más lentamente, pero alcanzar un tamaño mayor durante La Niña.

Considerando que la cucaracha de mar puede vivir entre 2 a 7 años y que los eventos de El Niño y La Niña pueden extenderse hasta años, es muy probable que un individuo promedio experimente al menos 2 ciclos durante su vida. Esto plantea una pregunta fascinante: ¿qué sucede cuando un quitón que comenzó a crecer durante La Niña experimenta posteriormente un evento de El Niño, o viceversa? Sin duda, los efectos podrían ser complejos: es posible que los quitones, como en otros organismos invertebrados marinos, pudieran mostrar patrones de crecimiento mixtos, con períodos

de crecimiento rápido alternados con períodos de crecimiento lento, dependiendo de las condiciones de temperatura del agua que experimente a lo largo de su vida. Aunque este aspecto ha sido poco explorado para la cucaracha de mar y los quitones en general, representa un área importante de investigación futura.

Estos eventos muestran una forma en que la naturaleza busca un constante equilibrio entre un factor ambiental como lo es la temperatura del agua, con respecto a la velocidad de crecimiento, tamaño final y longevidad de la cucaracha de mar (Avila-Poveda et al., 2020; Valencia-Cayetano et al., 2024b; Figura 4).

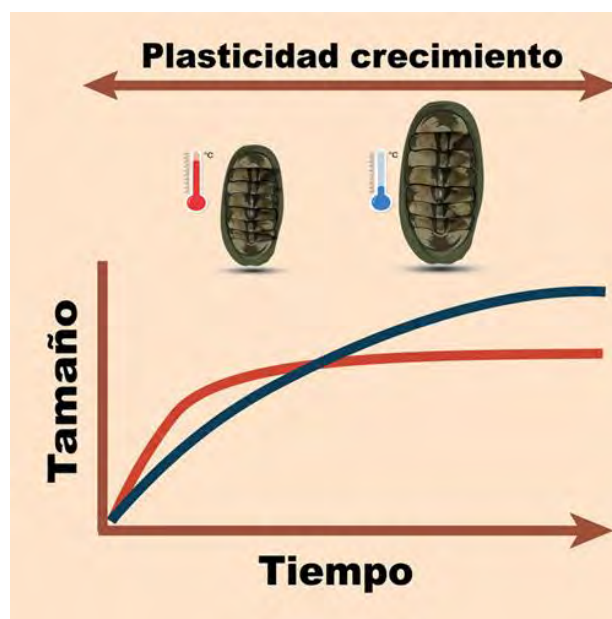


Figura 4. Plasticidad en el crecimiento de *Chiton articulatus*. Esta plasticidad puede ocurrir bajo diferentes condiciones climáticas o bien a varios factores. Observa cómo se muestran dos formas de crecer, estas son conocidas como curvas de crecimiento. Nota como en ambos casos las curvas de crecimiento llegan al “techo” que representa un crecimiento asintótico. El Niño (rojo) acelera su desarrollo inicial, pero limita su tamaño final, mientras que La Niña (azul) lo ralentiza al inicio, pero permite que alcancen tamaños mayores.

La plasticidad del crecimiento: adaptarse para prosperar

La capacidad de los quitones para ajustar su crecimiento en respuesta a las condiciones ambientales, como El Niño y La Niña, se conoce como plasticidad del crecimiento (Figura 4). Es como si tuvieran un truco bajo la manga, es decir, una habilidad para adaptarse a lo que las condiciones del océano les manifiesta. Esta plasticidad funciona como una herramienta de supervivencia que les permite prosperar en diferentes escenarios ambientales, aumentando sus posibilidades de supervivencia a largo plazo en un océano que naturalmente fluctúa entre períodos cálidos y fríos.



Aunque la temperatura parece ser un factor clave en este proceso, los científicos también destacan la importancia de considerar una variedad de factores como la densidad de la población o lo que es lo mismo el número de organismos que se encuentran en un área (por ejemplo, en la Figura 2, se observan que los quitones agregados en un roca); algunos fenómenos oceanográficos globales, como El Niño y La Niña, y el impacto humano, como la pesca a la que es sometida la cucaracha de mar (Avila-Poveda et al., 2020; Valencia-Cayetano et al., 2024b).

Protegiendo el futuro de los quitones

Entonces, ¿por qué es importante todo lo anterior? Comprender la dinámica de crecimiento y reclutamiento de cualquier organismo, y en particular como lo es el caso de la cucaracha de mar, sienta las bases para desarrollar mecanismos para el cuidado de la especie, así como del uso de ésta dentro del marco de un manejo sustentable del recurso. Esto es algo así, como las reglas del juego, que nos permitan proteger a las poblaciones de la cucaracha de mar para que persistan en el tiempo.

Al considerar la complejidad de factores que influyen en el crecimiento y la dinámica de las poblaciones de quitones y de cualquier otro organismo, podemos diseñar estrategias que garanticen la sostenibilidad a largo plazo de las especies frente a los cambios ambientales y las presiones humanas. Por ejemplo, es muy importante entender como en particular, la cucaracha de mar se adapta al cambio climático, especialmente, su plasticidad en el crecimiento que le permite enfrentar las condiciones cambiantes del océano. Sin embargo, esto también plantea interrogantes sobre los límites de su capacidad de adaptación.

Los fenómenos climáticos como El Niño han provocado efectos diversos en otros grupos de moluscos, proporcionando valiosas comparaciones. Algunos bivalvos en las costas de Perú han mostrado modificaciones en sus patrones de crecimiento como respuesta a los cambios de la temperatura del agua de mar (Rollins et al., 1986). Otras investigaciones más recientes revelan que cuando la temperatura del agua cambia bruscamente (más de 5°C), los bivalvos reorganizan su energía: en lugar de usarla para crecer, la destinan para sobrevivir al estrés térmico (Yan et al., 2025). Estos hallazgos sugieren que la plasticidad en el crecimiento no es una respuesta exclusiva de los quitones, sino que se extiende a una amplia gama de invertebrados marinos, que realizan este ajuste dinámico entre su crecimiento y supervivencia según las condiciones ambientales.

Tanto por responder

A pesar de lo hasta ahora descubierto, aún quedan muchas preguntas. A largo plazo ¿cómo afectarán los cambios de temperatura del océano a las poblaciones de los organismos marinos y en particular de la cucaracha de mar? ¿podremos actuar para anticiparnos y ayudar a evitar el límite de la capacidad de adaptación? Es decir, el punto donde las temperaturas del océano se vuelvan tan extremas que su plasticidad de crecimiento ya no sea suficiente para sobrevivir, superando su capacidad de ajuste frente al aumento de la temperatura. Sin lugar a duda, a medida que avanzamos hacia el futuro, comprender mejor estas cuestiones nos proporcionan las herramientas necesarias para proteger a los quitones de manera sostenible junto con nuestros recursos oceánicos, y en este sentido, también proteger nuestra propia existencia.

Consideraciones finales y conclusión

La historia del crecimiento de *C. articulatus* es un testimonio de la sorprendente capacidad de adaptación de la naturaleza a través del tiempo y de las variaciones ambientales que ello implica. Con la plasticidad del crecimiento en respuesta a los eventos climáticos, estos pequeños moluscos nos enseñan valiosas lecciones sobre la resiliencia y la supervivencia. A medida que continuamos explorando los mecanismos que explican esta fascinante dinámica, contamos con más información para proteger y preservar no solo a los quitones, sino también a los delicados ecosistemas intermareales de los que dependen.

Así que, la próxima vez que visites alguna playa del océano Pacífico mexicano y te encuentres con afloramientos rocosos intermareales, recuerda que ahí habitan las cucarachas de mar, herederas de una historia evolutiva de cientos de miles de años. Estos pequeños habitantes son verdaderos legados vivos que muestran la extraordinaria capacidad de plasticidad biológica y ecológica. Los quitones forman un grupo tan bien adaptado a una zona de constantes cambios, por lo que son un ejemplo de la resiliencia frente a un mundo y un universo donde lo único constante es el cambio. Sin duda aún hay muchos secretos por descubrir, de este y otros grupos de organismos. ¡Y quién sabe qué otros secretos aún están por descubrir en el fascinante mundo de los quitones y otros moluscos!



Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Guerrero, CVC es becario CONAHCYT No. de beca 792963, JPS pertenece al Programa Investigadoras e Investigadores por México, Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Rendón, T. A., O. H. Avila-Poveda y N. C. Saavedra-Sotelo. 2025. *Mitochondrial genetic divergence of Chiton articulatus (Polyplacophora: Chitonida) in the Mexican Tropical Pacific*. Marine & Freshwater Research 76: MF24172.
- Avila-Poveda, O. H., G. Rodriguez-Domiguez, J. S. Ramirez-Perez y R. Perez-Gonzalez. 2020. *Plasticity in growth parameters of an intertidal rocky shore chiton (Polyplacophora: Chitonida) under pre-ENSO and ENSO events*. Journal of Molluscan Studies 86: 72-78.
- NOAA. 2024. *What are El Niño and La Niña? National Oceanic and Atmospheric Administration*. En: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina.html> (consultado el 28/06/2025).
- Rollins, H. B., D. H. Sandweiss y J. C. Rollins. 1986. *Effects of the 1982-1983 El Niño on bivalve mollusks*. National Geographic Research 2(1): 106-112.
- Valencia-Cayetano, C., J. López-Martínez, J. G. Padilla-Serrato, R. Flores-Garza, S. García-Ibáñez y A. Méndez-Bahena. 2024a. *Del mar a la mesa. La captura comercial de la cucaracha de mar Chiton articulatus en la Bahía de Acapulco, Guerrero*. Recursos Naturales y Sociedad. 10 (Especial): 107-122.
- Valencia-Cayetano, C., J. López-Martínez, J. G. Padilla-Serrato, R. Flores-Garza, S. García-Ibáñez y A. Méndez-Bahena. 2024b. *Growth patterns and population dynamics of Chiton articulatus (Mollusca: Polyplacophora): A multi-decade study*. Marine Environmental Research 199: 106604.
- Yan, J., K. Shirai, K. Nishida, L. Zhao, M. Wang, H. Zhang, Y. Feng, X. Chen, Y. Zheng, X. Li, X. Sun, L. Tian y H. Song. 2025. *Growth disturbances in bivalve shell: Implications for past and future intra-annual scale climate change*. Science of The Total Environment 976: 179297.

Cita

Valencia-Cayetano, C., J. López-Martínez, S. García-Ibáñez y J.G. Padilla-Serrato. Vida sobre las rocas: el crecimiento de la cucaracha de mar (*Chiton articulatus*) y su plasticidad ante fenómenos como El Niño y La Niña. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 173-183. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0011>

Sometido: 29 de mayo de 2025

Aceptado: 2 de julio de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Small-Scale Coastal Fisheries and the Potential Resources of
Northwestern Mexico: Spider Crabs

La Pesca Ribereña y los Recursos Potenciales
del Noroeste de México: los Cangrejos Araña

Juana López-Martínez^{a*}, Eloisa Herrera-Valdivia^a, Rufino Morales-Azpeitia^a,
Sergio S. González-Peláez^b, Horacio Bervera-León^b,
Edgardo B. Farach-Espinoza^a, Estefani Larios-Castro^a

Resumen

México es un país favorecido por su alta diversidad de especies marinas donde la pesca es uno de los pilares de la seguridad alimentaria, con una producción cercana a los 2.0 millones de toneladas anuales. No obstante, sus capturas poco se han diversificado en los últimos 50 años, debido principalmente a usos y costumbres arraigados regionalmente, implicando que las pesquerías tradicionales estén concentradas en pocas especies. Por su parte, el análisis de los niveles de extracción de estos recursos ha mostrado que ya no se incrementarán en una forma sustantiva. Lo anterior, hace que la exploración y ubicación de nuevos recursos con potencial pesqueros sea cada vez más necesaria. Dentro de los recursos con potencial pesqueros en el país se ubican al menos veintiuna especies de crustáceos, algunas de aguas someras y otras de aguas más profundas que realizan migraciones en algunas épocas del año cuando se hacen accesibles a las embarcaciones de pequeña escala o ribereñas. De estos, los cangrejos araña *Maiopsis panamensis* y *Stenocionops ovatus*, han despertado un interés en pescadores de la región costera de Sonora, donde se capturan de manera incidental entre los meses de octubre a mayo de cada año. Es necesario investigar más para definir el potencial de la pesca de los cangrejos araña y otros recursos, además de generar la información que permita promover su aprovechamiento sostenible para apoyar a uno de los sectores más desprotegidos de México: los pescadores.

Palabras clave: Noroeste de México, Recursos pesqueros potenciales, pesca ribereña, cangrejo araña, *Maiopsis panamensis*, *Stenocionops ovatus*

^a Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Unidad Sonora. Km. 2.35 Camino al Tular Estero de Bacochibampo Guaymas, Sonora, 85465 México

^b Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, CP 23096, La Paz, Baja California Sur, México

*Autor de correspondencia: jlopez04@cibnor.mx



Abstract

Mexico is a country favored by its high diversity of marine species. Fishing is one of the pillars of food security in the country, with an annual production of close to 2.0 million tons. However, the catches have diversified only marginally over the past 50 years, primarily due to regionally specific uses and customs, indicating that fisheries are concentrated on a small number of species. Extensive analysis of the extraction levels of these resources has shown that they will no longer increase substantially. This underscores the growing importance of exploring and identifying new fishing locations. There are at least twenty species of crustaceans with fishing potential in the country, some of which inhabit shallow waters and others deeper waters. These species migrate at certain times of the year, when they become accessible to small boats. Of these, the spider crabs *Maiopsis panamensis* and *Stenocionops ovatus* have attracted the attention of fishermen in the coastal region of Sonora, where they are caught incidentally between the months of October and May each year. In this instance, further research is required to ascertain the potential of these and other resources, while generating information to promote their sustainable use in support of one of the most unprotected sectors in Mexico: fishermen.

Key words: Northwestern Mexico, potential resources, small-scale fishery, spider crab, *Maiopsis panamensis*, *Stenocionops ovatus*

Antecedentes

México, con más de 11,000 kilómetros de costa en dos océanos y una vasta Zona Económica Exclusiva, tiene una herencia marítima fundamental para su desarrollo económico y cultural. La diversidad de recursos pesqueros y acuícolas, además de la calidad de algunos de los productos, ha contribuido a despertar el interés por la búsqueda de nuevos mercados y posicionar al país como un actor relevante en los mercados regionales y mundiales. Con una producción pesquera cercana a los 2.0 millones de toneladas anuales (CONAPESCA, 2024), México es una potencia pesquera, siendo al menos un tercio de sus capturas derivadas de la pesca de pequeña escala, conocida como pesca ribereña (Aguilar-Ramírez et al., 2025).

De acuerdo con la FAO, en México, la investigación pesquera se encuentra limitada a pesar de su importancia debido a diversos factores, entre los que se cuentan conflictos ecológicos internacionales como lo son el caso de la vaquita marina y el de la tortuga amarilla, así como la

inacción del gobierno para implementar medidas de adaptación en el sector pesquero ante los posibles efectos del cambio climático (Aguilar-Ramírez *et al.*, 2025; FAO, 2024). Esto último incluye la poca atención que ha recibido la investigación en la exploración de recursos pesqueros alternativos, en especial, considerando los cambios que se esperan debido al calentamiento global (Clarke *et al.*, 2021; Lluch-Cota *et al.*, 2010; Páez-Osuna *et al.*, 2016; Thorne *et al.*, 2024), donde se han pronosticado cambios en la distribución y abundancia de especies comerciales como el camarón, la sardina, etc., y en consecuencia, la caídas en sus capturas (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2025; Cavieses-Nuñez *et al.*, 2025; Fang y Zhan, 2025; López-Martínez *et al.*, 2017; McClure *et al.*, 2023; Zambrano-Medina *et al.*, 2023).

En general, la mayor parte de las actividades pesqueras en México se caracterizan por estar dirigidas a pocas especies que tradicionalmente han sido explotadas y que cuentan con toda una infraestructura de transformación para dar valor agregado al producto y con un mercado ya consolidado (p. ej. el camarón, el abulón, la langosta, la sardina y el atún). De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera, de las 82 pesquerías marinas reconocidas, 28 se encuentran sobreexplotadas, 44 están en su máximo rendimiento sostenible y solo cinco presentan potencial de desarrollo (DOF, 2023). Las capturas de estos recursos han mostrado que los niveles de extracción ya no se incrementarán en forma sustantiva. Lo anterior ha hecho que la exploración y ubicación de recursos pesqueros con potencial sea cada vez más necesaria, con la finalidad de ofrecer alternativas para una diversificación bien dirigida de las actividades pesqueras.

Además de las especies que tradicionalmente han sido explotadas, el noroeste de México (Fig. 1) cuenta con una alta riqueza de especies de crustáceos, moluscos y peces, algunos de ellos considerados recursos pesqueros de gran potencial y que no han sido plenamente aprovechados, constituyendo fuentes alternativas de proteínas para una población humana cada vez más demandante de alimento. Ejemplos de lo anterior, se tienen especies como la langostilla *Pleuroncodes planipes* y los camarones de profundidad (géneros *Sicyonia spp*, *Pandalus spp* y *Heterocarpus spp*), especies que han despertado el interés de los sectores involucrados en la pesca para su aprovechamiento.

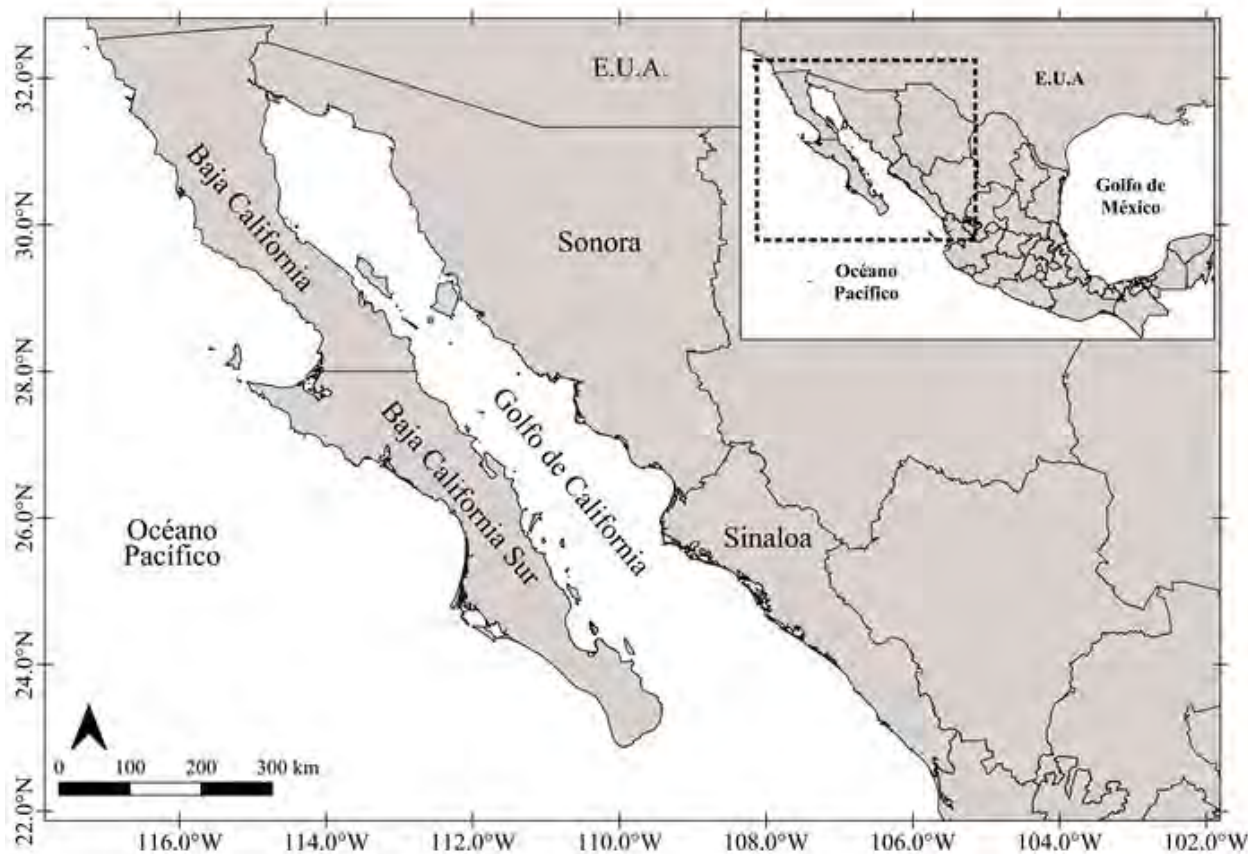


Figura 1. Noroeste de México.

Situación de la pesca ribereña

La pesca es un oficio de tradición en el noroeste de México, representando el 78% de las capturas registradas a nivel nacional, con casi un millón de toneladas anuales (pronatura noroeste, consultado el 09/04/2025). Dentro de las actividades pesqueras, la pesca ribereña juega un papel clave en el combate a la pobreza, en ofrecer alimentos nutritivos y a bajo costo a la población, en avanzar hacia la seguridad alimentaria del país y en el manejo sustentable de los recursos pesqueros. Para entender su dimensión, podemos citar a la Comisión de Pesca y Acuicultura del Senado de la República, entidad que indica que a nivel nacional cerca del 85% de los pescadores y 95% de los equipos pesqueros pertenecen a la pesca ribereña (FAO, 2025, consultado el 05/05/2025). Específicamente, en el noroeste del país, la actividad ribereña genera cerca del 65% de la producción destinada al consumo humano (Díaz-Uribe *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2011), capturando especies como peces óseos, elasmobranquios, moluscos, crustáceos y equinodermos (Ramírez-Rodríguez, 2009).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la pesca ribereña puede ser un factor de cambio en numerosas comunidades costeras y tener un papel clave en el combate a la pobreza, además de ser un elemento de cohesión e identidad (FAO, 2022; Gallardo Lagno *et al.*, 2023). No obstante, y a pesar de su importancia pesquera y socioeconómica, la pesca ribereña está inmersa en diversos problemas, entre ellos: los bajos precios pagados por los productos de la pesca, artes y equipos obsoletos, unidades de producción deficientes en la organización del trabajo y descapitalización de las unidades económicas que practican la pesca ribereña (Ponce-Díaz *et al.*, 2009). Todo ello lleva a problemas de ordenamiento debido a varias causas, incluyendo: 1) la percepción de que las embarcaciones menores son menos duraderas que las de mayor calado (Mathew, 2002) y 2) la alta movilidad de las embarcaciones que utilizan, junto con la estacionalidad de los recursos pesqueros, ocasiona que el esfuerzo de pesca en una zona sea muy variable y difícil de manejar (Díaz-Uribe *et al.*, 2013; Espinoza-Tenorio *et al.* 2011; Ponce-Díaz *et al.*, 2009).

Otro problema fuerte que enfrenta la pesca ribereña en México es la entrada en veda de la mayoría de los recursos de alto valor comercial en periodos simultáneos, generando conflictos con el aprovechamiento de otros recursos. Por ejemplo, de marzo a agosto entra en vigor en el noroeste la veda implementada para salvaguardar la reproducción de la jaiba, y el camarón, dejando disponibles solo algunas especies de escama que se capturan con redes de enmalle (chinchorros), o con líneas de anzuelos (cimbras), artes que también capturan tiburones y rayas, y cuyas especies también están vedadas, haciendo a los pescadores sujetos de sanciones por parte de inspectores perteneciente a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) o por personal de inspección y vigilancia de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Esta situación los ha llevado a no contar con casi ninguna especie para trabajar.

Buscando una alternativa y aprovechando el interés de los compradores asiáticos y de la Compañía dedicada a la producción de pescado y mariscos “Pesquera México, S.A. de C.V.”, personal del Programa de Ecología Pesquera del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), plantearon en 2003 el desarrollo de proyectos de investigación vía la pesca de Fomento de la medusa *Stomolophus spp*, que fue todo un éxito y sentó las bases para que se abriera a la pesca comercial en 2012. Esta pesquería se lleva a cabo de abril a mayo en Las Guásimas, Sonora y de junio a agosto en el Golfo de Santa Clara, Sonora. Es la pesquería más nueva de México y actualmente el país ocupa el 5º lugar como productor de medusa en el mundo, con un promedio de 45,000 toneladas anuales, generando 19,000 empleos y una derrama económica de 36 millones de



dólares, más del 75% de este ingreso beneficia a los pescadores y los trabajadores de las plantas procesadoras. A nivel nacional esta pesquería ocupa el tercer lugar en volumen, además, tiene un alto impacto social, ya que se lleva a cabo por el sector social ribereño y muchos familiares de los mismos pescadores trabajan en las plantas procesadoras; por lo que esta pesquería se convirtió en una verdadera alternativa para el sector ribereño.

Si bien, el recurso medusa ha reactivado la actividad pesquera en las costas de Sonora, resulta imperativo buscar más recursos alternativos en beneficio de la población dedicada a la pesca ribereña del resto del noroeste de México. Se ha planteado reiteradamente por parte del sector ribereño la apertura a la pesca comercial del pez dorado *Coryphaena hippurus*, pero debido a conflictos con el sector turístico, además de la normatividad vigente en la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables en México que declara a la especie como reservada para la pesca deportiva, no ha sido factible su aprovechamiento por la pesca comercial.

Crustáceos potenciales

Las pesquerías de crustáceos en la zona ribereña tales como la jaiba y el camarón tradicionalmente han sido llevadas a cabo entre las 5 a las 50 brazas (9-90 m), límite de operación de la flota camaronera y de las embarcaciones ribereñas. Sin embargo, se sabe de la existencia de una alta diversidad de especies de crustáceos, mismas que han sido reportadas en diversas regiones del Pacífico (Hendrickx, 1989; Hendrickx *et al.*, 1992; Vargas-Castillo, 2008; Villalejo *et al.*, 2001; Wehrtmann y Echeverría-Sáenz, 2007) y que constituyen un recurso potencial de importancia en la zona litoral y talud continental (Fischer *et al.*, 1995; López-Martínez *et al.*, 2007). Estas especies han sido reportadas desde las 30 a 350 brazas (54-630 m) de profundidad y poco se sabe sobre su biología básica y mucho menos de sus abundancias y distribuciones, elementos necesarios para evaluar su potencial pesquero.

De las especies de crustáceos que han sido reportadas se ubican veintiuna con potencial pesquero (tabla 1), algunas de aguas someras y otras de aguas más profundas, que realizan migraciones en algunas épocas del año cuando se hacen accesibles a las embarcaciones menores. El conocimiento de estas especies es limitado y poco se sabe acerca de sus áreas de distribución, abundancia y biomasa explotable, así como su papel funcional en el ecosistema, información necesaria para plantear el uso racional de los mismos.

En aguas mexicanas son muy pocos los antecedentes sobre las especies de crustáceos de la plataforma del Golfo de California, por lo cual no se pueden dar datos específicos sobre sitios donde se presume que puede haber existencias importantes en magnitud como para permitir una explotación formal. López-Martínez *et al.* (2007) mencionan que arrastres de una hora de duración pueden producir una captura de camarón nylon cercana a los 800 kg/hr frente a Guaymas, Sonora. Se tienen registros de la aparición de las especies potenciales listadas en la Tabla 1, pero en su mayoría solo han sido estudiadas con fines taxonómicos (Hendrickx, 1995). No obstante, en 1997 se evaluó el potencial de aprovechamiento del camarón roca en Bahía de Kino, en las costas de Sonora, encontrando que este puede aprovecharse durante los primeros meses de la veda de los camarones peneidos, ya que al ser un dominante ecológico cuando aparece en el área, desplaza a los peneidos (López-Martínez *et al.*, 1999, 2002). En 2004-2009 se llevó a cabo un proyecto para evaluar el potencial pesquero de los camarones de profundidad (hasta las 500 brazas) de los géneros *Sicyonia* (López-Martínez *et al.*, 2019), *Heterocarpus* y *Solenocera*, de los cuales se conoce su distribución, abundancia y dinámica poblacional. En ese proyecto, se planteó la posibilidad de abrir a permisos de pesca de fomento para explorar nuevas tecnologías de captura que hicieran rentable su aprovechamiento. A pesar del interés de varios productores y solicitudes de permisos de pesca de fomento, estas fueron negadas por las autoridades pesqueras.

En la costa occidental de Baja California se conocen los trabajos de prospección de camarón de profundidad *Pandalus platyceros*, efectuados por la empresa Acuaproductos Baja, S.A. de C.V. en 1999 y el 2000 cuyos resultados fueron entregados a la autoridad. Dentro de los resultados, se sabe que la empresa efectuó lances en los límites de la plataforma continental y más allá de está, frente a la Bahía de Todos Santos, identificando con el apoyo de investigadores de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), cuatro especies de cangrejos Braquiuros y Anomuros que no han sido registrados en las capturas comerciales (*Lopholithodes foraminatus*, Stimpson 1859, *Paralithodes californiensis*, Benedict 1894, *Mursia gaudichaudii*, Mine Edwards 1837 y *Moloha faxoni* Schmitt 1921).

Así mismo, investigadores de tecnología de capturas del Departamento de Ingeniería Pesquera de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), desarrollaron una pesca exploratoria en la porción norte y centro de la Bahía de la Paz y en la Isla San José, Cerralvo y Espíritu Santo, además de los muestreos efectuados a la altura de Bahía Tortugas y frente a Bahía Magdalena detectando especies de interés comercial, tanto por su frecuencia como por su tamaño, entre las que se



encontraron: *Maiopsis panamensis*, *Stenocionops ovatus*, *Cancer johngarthi*, *Cancer anthonyi* y *Mursia gaudichaudi* a profundidades que oscilaron entre los 6 y 700 m.

Por su parte, El CIBNOR obtuvo resultados positivos con la langostilla *Pleuroncodes planipes*, en la zona comprendida desde punta San Hipólito hasta Bahía Magdalena en Baja California Sur, realizando muestreos dentro de la plataforma continental de la cual se generó información de su biología, ecología y planteamientos de aprovechamiento (Balart, 1996; Hernández-Llamas et al., 2006). Por su parte, se sabe que el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN (CICIMAR) durante 2007-2009 trabajó en colaboración con productores pesqueros mediante un permiso de pesca de fomento en la evaluación del cangrejo limón en las costas de Baja California Sur, sin que se conozcan a la fecha los resultados del mismo trabajo.

Cangrejo araña *Maiopsis panamensis* y cangrejo araña terciopelo *Stenocionops ovatus*

Se sabe de la existencia en el noroeste México, y específicamente en el litoral sonorense, de una alta diversidad de especies de cangrejos tales como *Maiopsis panamensis* (cangrejo araña), *Stenocionops ovatus* (cangrejo araña terciopelo), *Cancer johngarthi* (cangrejo limón) y *Cancer anthonyi* (cangrejo amarillo), mismas que pudieran presentar un potencial de aprovechamiento pesquero. En particular debido a que los cangrejos de la familia Majidae, *Maiopsis panamensis* (Faxon, 1893) y Epialtidae, *Stenocionops ovatus* (Bell, 1835) viven en aguas profundas en la plataforma continental del Golfo de California, han sido difíciles de colectar (Hendrickx, 1989; Hendrickx et al., 1992). En 2012-2014, personal del CIBNOR Unidad Guaymas, llevaron a cabo investigaciones de los cangrejos araña y araña terciopelo con la finalidad de evaluar su potencial pesquero, financiados por Fundación Produce Sonora y con apoyo de productores de los campos pesqueros de El Choyudo, La Manga y Bahía de Lobos en Sonora (Fig. 2). En dicha investigación se evaluó la biología básica, reproducción, crecimiento, mortalidad y se estimó la abundancia, además de evaluar el funcionamiento de algunas artes de pesca. A continuación, se detalla lo que se conoce de las especies.

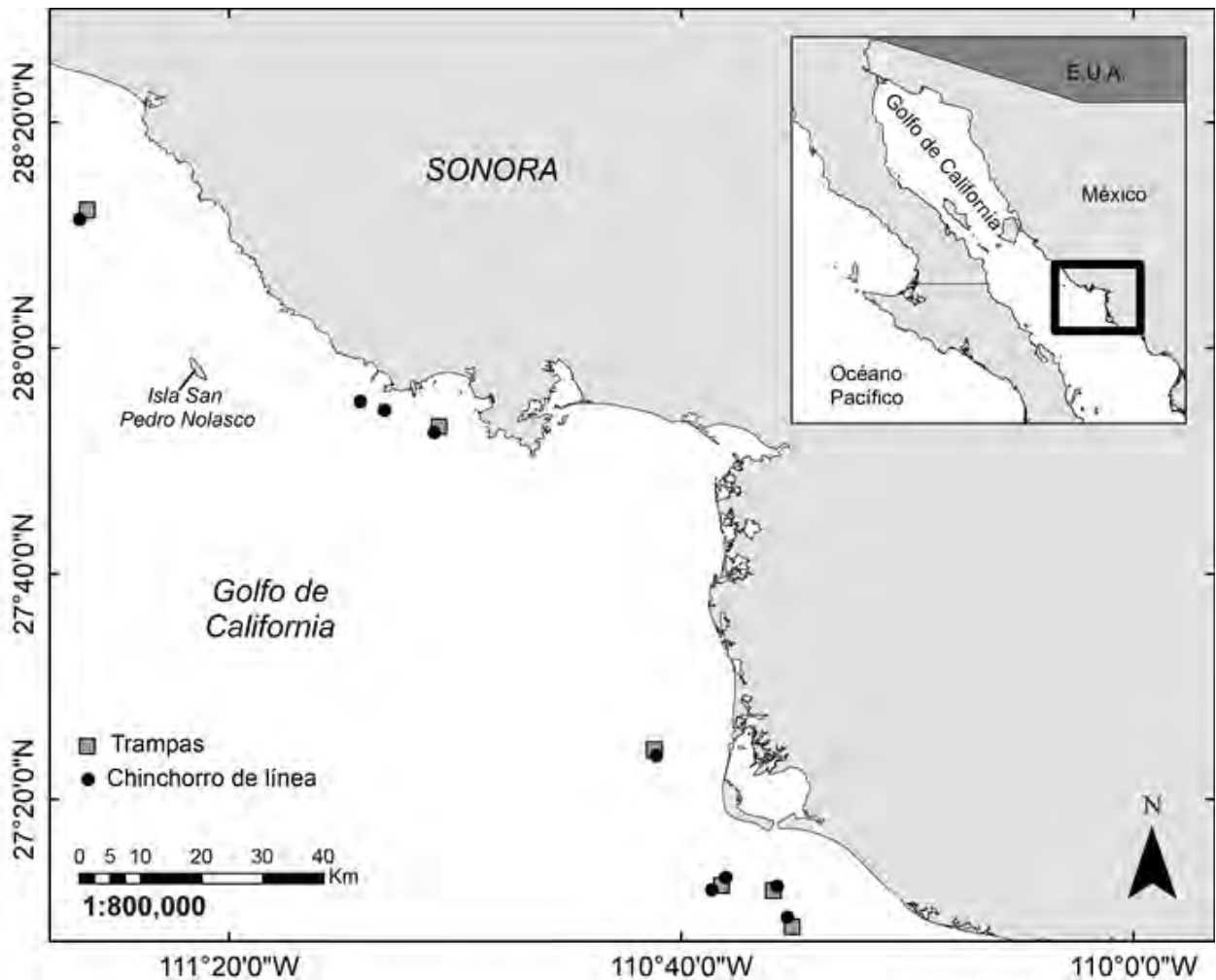


Figura 2. Zona de muestreo de los cangrejos araña y cangrejo araña terciopelo en el litoral de Sonora, México.

***Maiopsis panamensis* (Faxon, 1893)**

Conocida como cangrejo araña o cangrejo araña panámico, *Maiopsis panamensis* (Fig. 3), es una especie perteneciente a la familia Majidae. Se encuentra en el Pacífico oriental, en las costas de México, incluyendo el Golfo de California y las Islas Galápagos (Fig. 4). Es un cangrejo de aguas profundas con un tamaño máximo de 31 cm de ancho (Von Prahly Guhl, 1984).



Figura 3. Cangrejo araña *Maiopsis panamensis* capturado en el campo pesquero La Manga, Sonora, México.

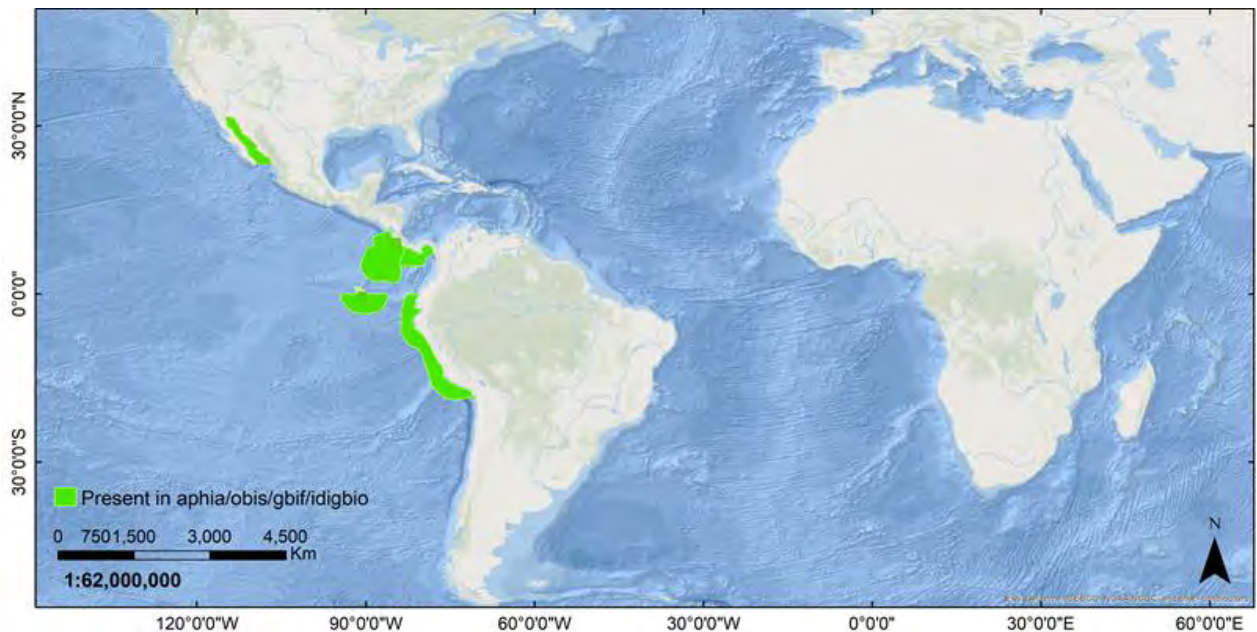


Figura 4. Área de distribución de *Maiopsis panamensis*. Modificado/Adaptado de: WoRMS.
<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=442021#distributions>

M. panamensis presenta una reproducción policíclica, con diferentes ciclos de desarrollo, madurez y desove a lo largo del año. Tras cada desove, el desarrollo de los ovocitos continúa sin periodo de descanso. Su reproducción ocurre entre noviembre y diciembre, cuando los machos buscan hembras para aparearse. Una vez que el macho encuentra a su pareja, utiliza sus pinzas especializadas para transferir el esperma. Las hembras llevan los huevos fertilizados en su abdomen hasta que eclosionan en forma de larvas planctónicas, las cuales pasan varias etapas de desarrollo antes de convertirse en cangrejos juveniles y asentarse en el fondo marino (Rodríguez-Jaramillo *et al.*, 2021). Es omnívoro y carroñero, alimentándose de peces en descomposición, invertebrados pequeños como crustáceos y moluscos y algunas algas. Aunque no ha sido formalmente evaluado en términos de conservación, se considera común y de preocupación mínima y habita principalmente en aguas profundas del Pacífico oriental. Se le encuentra en fondos rocosos y arenosos, donde se camuflajea con su entorno utilizando algas y esponjas. Posee una adaptación única: si se siente amenazado usa su exoesqueleto espinoso para evitar depredadores como peces y pulpos, manteniéndose inmóvil, confiando en su camuflaje para pasar desapercibido. Es una especie bastante solitaria y activa durante la noche, se mueve lentamente sobre el fondo marino, buscando alimento (Villalejo-Fuerte *et al.*, 2001).

M. panamensis al ser un carroñero, contribuye al reciclaje de nutrientes en el fondo marino, manteniendo el equilibrio del ecosistema al consumir restos orgánicos en descomposición. Esto beneficia a otras especies al reducir la acumulación de desechos y mejorar la calidad del hábitat. Además, su capacidad de camuflaje con algas y esponjas no solo le ayuda a evitar depredadores, sino que también proporciona refugio a otros pequeños organismos marinos.

***Stenocionops ovatus* (Bell, 1836)**

El cangrejo araña terciopelo *Stenocionops ovatus* (Fig. 5) es una especie de la Familia *Epiplatidae* que habita aguas profundas, con registros que indican su presencia desde 15 hasta 275 metros de profundidad. Su distribución se extiende desde California, el Golfo de California, además de otras regiones como Chile y Ecuador (Fig. 6). Es un cangrejo con un caparazón ovalado y espinoso. Sus patas son largas y delgadas, características de los *Epiplatidae*, lo que le permite moverse con facilidad en su hábitat, típicamente de fondos arenosos y rocosos, donde se mezcla con su entorno gracias a su forma y colores. Se alimenta de pequeños organismos marinos, incluyendo moluscos y otros invertebrados, complementando su dieta con materia orgánica en el fondo marino.



Figura 5. Cangrejo araña terciopelo *Stenocionops ovatus* (fuente: Universidad Nacional del Santa, 2020).

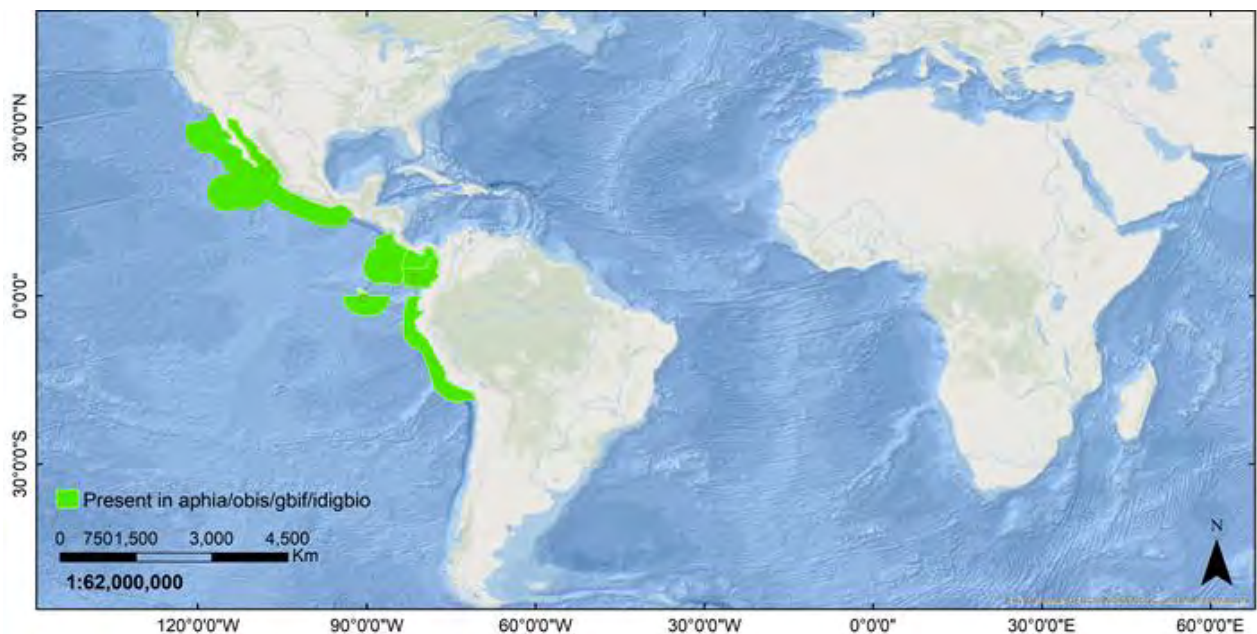


Figura 6. Área de distribución de *Stenocionops ovatus*. Modificado/Adaptado de: WoRMS.

<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=442136#distributions>

Estudios recientes llevados a cabo por el CIBNOR unidad Guaymas, han permitido ampliar el conocimiento de su biología, destacando que la proporción de sexos es de 1.2 hembras por 1 machos, su distribución de tallas y pesos indican que en promedio la población de la costa de Sonora tiene 14 cm de ancho de caparazón y 1500 gramos.

En cuanto a su abundancia, son escasos los trabajos sobre su densidad poblacional exacta. No se explota comercialmente a gran escala, sin embargo, algunos registros mencionan su presencia en listas de especies de crustáceos, junto con información sobre métodos de pesca y distribución.

Discusión Académica

Es innegable la necesidad de la diversificación de la pesca en México, tanto por el incremento de la demanda nacional de más productos marinos para el consumo humano directo e indirecto, como por la necesidad de disminuir la presión de pesca de las especies en estado de sobreexplotación. Asimismo, es necesario disminuir las importaciones de pescados y mariscos y mejorar la balanza comercial nacional.

Si bien, la generación de información para el manejo de las pesquerías ribereñas actuales es una necesidad esencial para tratar de recuperar sus niveles óptimos y sostenibles al largo plazo, también lo es la búsqueda de recursos alternativos que permitan la adaptación de las poblaciones humanas que dependen de la pesca en el noroeste mexicano.

Uno de los aspectos que parece ser limitante en el desarrollo de la pesquería de los cangrejos araña, es la falta de investigación respecto a las técnicas de captura y exploración de este recurso en el noroeste del país. La poca información con la que se cuenta actualmente proviene de las costas de Sonora y resalta la falta de información oficial de la existencia de este recurso en otras zonas. Por ejemplo, se sabe que la captura de cangrejo araña (presumiblemente *Loxorhynchus grandis*; Fig. 7) es realizada de manera tradicional en la costa pacífico del Estado de Baja California, específicamente en la localidad de Popotla, Municipio de Playas de Rosarito, donde se le conoce como cangrejo marciano por su aspecto poco usual, es el principal producto que se pesca y se consume en la localidad por visitantes locales y turistas.

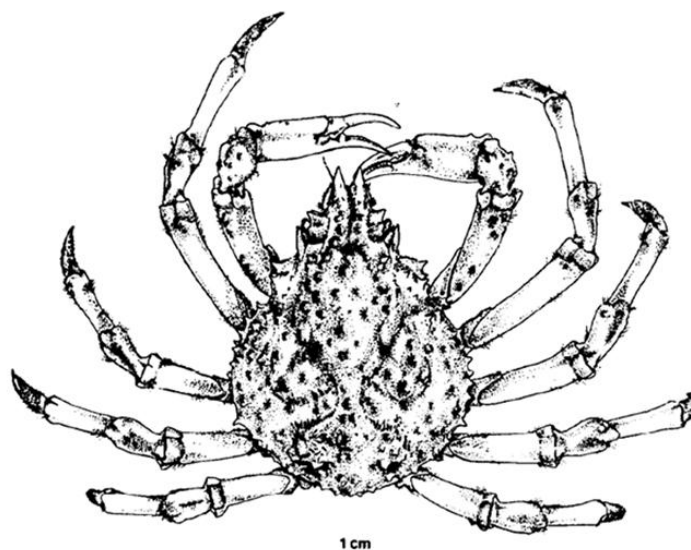


Figura 7. Cangrejo araña *Loxorhynchus grandis* capturado en el pacífico de Baja California (fuente: Bonfil y Carvacho, 1989).

Para poder entender el potencial que existe en nuestro país, es conveniente conocer el desarrollo de dos casos emblemáticos de la pesquería de los cangrejos araña de la región ártica. La primera de ellas se desarrolló en el mar de Bering, donde en los años 40 y 50's se inició con pequeñas embarcaciones de madera para pescar los cangrejos *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) conocido como King crab y *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) denominado como cangrejo de las nieves. Esta pesquería actualmente se encuentra tecnificada y se realiza con embarcaciones de pesca comercial que utilizan trampas de profundidad con carnada y son manipuladas con grúas y winches. Cada una de las especies ha sido estudiada y la pesquería se encuentra estrictamente regulada, sin embargo, el crecimiento exponencial de la flota hasta los años 80's, además del uso de redes de arrastre para otras pesquerías, han derivado en que se encuentre cerca de la sobrepesca. Adicionalmente, en los últimos años el incremento en las temperaturas ha propiciado que por el deshielo de la zona ártica se genere un aumento de la temperatura del fondo del mar, modificando así su hábitat, alterando el frágil ecosistema de los cangrejos y favoreciendo una considerable disminución de su población (Kruse *et al.*, 2025) y, por ende, disminuyendo las cuotas de pesca en los últimos años.

La pesquería rusa del mismo King crab, conocido por ellos como cangrejo araña rojo *P. camtschaticus* en el Mar de Barents, que se desarrolla en la zona ártica entre Rusia y Noruega en las costas más orientales de Europa, es producto de la inquietud de científicos rusos por aumentar los recursos pesqueros de la población de su país y que trasladaron en los años 70's algunos

ejemplares de este cangrejo de sus costas del mar de Bering a la región ártica de las costas de Siberia, sin tener en ese entonces resultados aparentes. Quince años después, detectaron grandes poblaciones de estos cangrejos ya que empezaron a impactar de manera incidental en su pesquería tradicional, desde entonces se ha ido extendiendo su presencia en las costas del mar de Barents desde Siberia hasta bajar por las costas de Noruega (Lorentzen *et al.*, 2018). Desde 1993 y con estudios más específicos para enfrentar el problema, se inició una exitosa pesquería más tecnificada que se efectúa en los meses de septiembre a diciembre a una profundidad promedio de 100 brazas y que, a su vez, trata de controlar la expansión de la especie que en sus inicios se estimó en 225,000 individuos que representaron 1,125 toneladas anuales; en 2003, representaron 66,850 toneladas y con un crecimiento sostenido que se estimó para el año 2019 en 9,836 toneladas anuales. (Dvoretsky y Dvoretsky, 2009; Stesko y Bakanev, 2021).

El potencial de las especies similares presentes en el Golfo de California de *S. ovatus* y *M. panamensis* es evidente y por su simple presencia ya son una buena señal pero, como en el caso del mar de Barents y de Bering, se deben de profundizar los estudios biológicos de reproducción, alimentación, muda, crecimiento, ecología etc. (Dvoretsky y Dvoretsky, 2009; Pavlova, 2008). Para enfrentar de manera ordenada los desafíos que implica el desarrollo de la pesquería de estas especies se deberá fomentar desde sus inicios la investigación de la mano con el sector de la pesca ribereña con el objetivo de generar un conocimiento más consolidado y alcanzar un estatus de pesca comercial.

Por ejemplo, los cangrejos *M. panamensis* y *S. ovatus* que se distribuyen en el litoral sonorense entre los campos pesqueros de El Choyudo y Bahía de Lobos mostraron, en nuestras investigaciones, biomasa de más de 8000 t de cangrejo araña y de 7000 t de cangrejo araña terciopelo, siendo este recurso disponible a la pesca ribereña en meses de noviembre a abril-mayo a profundidades desde los 50 a los 200 m. En estos casos se deberá de considerar los aspectos biológicos de ambas especies con fines de manejo, ya que en el caso del cangrejo araña tiene un crecimiento lento, mortalidad baja y talla de primera madurez es de 153 mm de ancho caparazón, mientras que el cangrejo araña terciopelo tiene un crecimiento moderado, mortalidad baja y su talla de primera madurez es desconocida.

En términos de las tecnologías para su captura se ha investigado explorando diferentes diseños de trampas (rectangulares rígidas, cónicas y rectangulares flexibles) (Fig. 8). En general, las trampas capturan hasta 15 cangrejos en 24 horas, siendo la trampa flexible la que presenta la ventaja de



transportarse en mayor número por embarcación. Aunque los pescadores ribereños pueden obtener mayores capturas usando chinchorros viejos, tienen la desventaja de dañarse rápidamente.

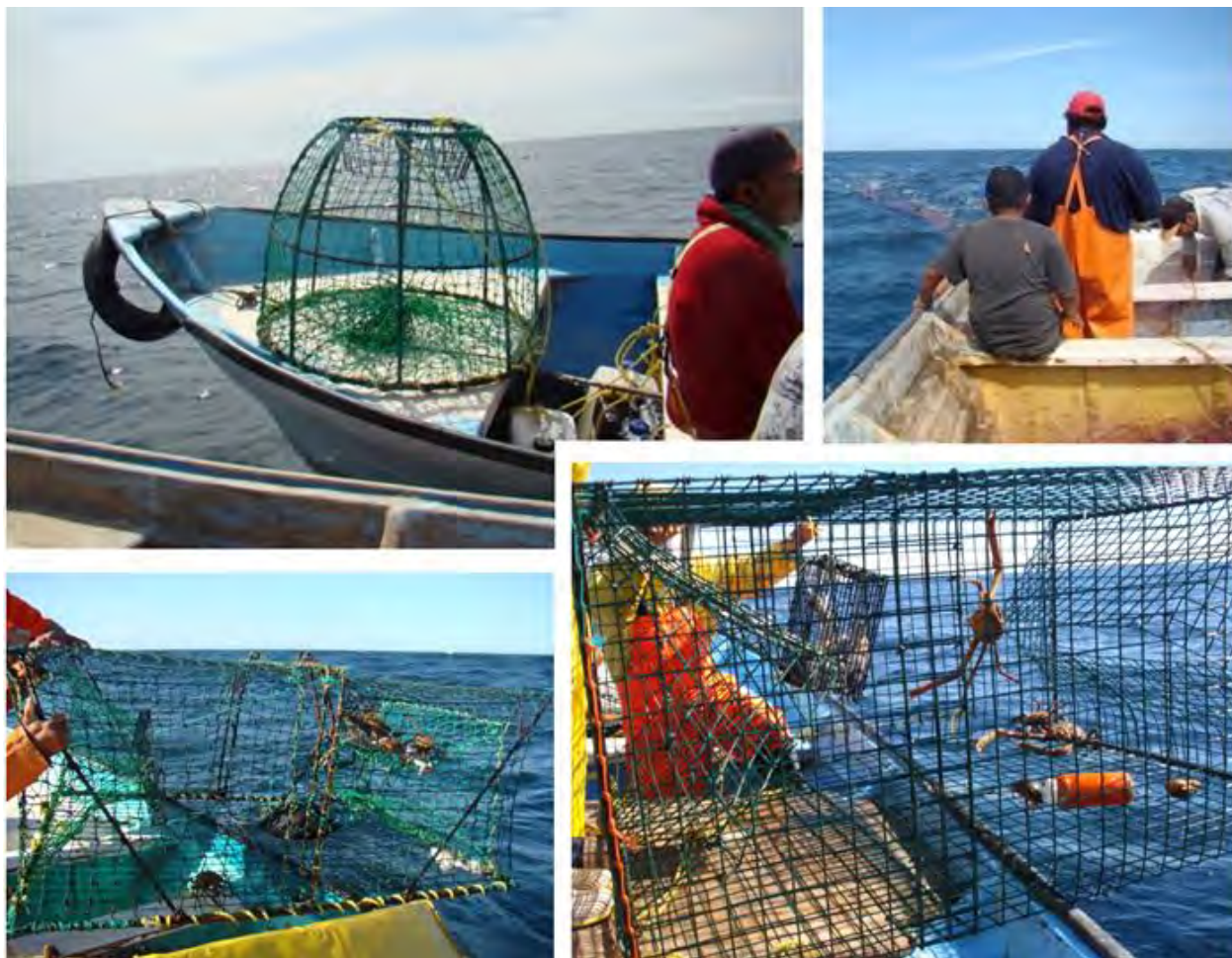


Figura 8. Trampa tronco-cónico, trampa rectangular plegable, trampa rectangular rígida experimentales y red de enmalle utilizada para pescar cangrejo araña en Sonora.

En concreto, el recurso cangrejo se considera que tiene potencial para una apertura a una pesca dirigida, en su inicio como fomento y, en un plazo de uno a dos años, pasar a fase comercial. Para ello se requiere llevar a cabo un proyecto que explore la transferencia de la tecnología de captura con el objetivo de diseñar trampas cada vez más eficientes con el apoyo de los mismos productores, así como favorecer canales de comercialización del producto y mejorar la tecnología de proceso no como jaiba desmenuzada como actualmente se vende, incrementando de esta manera el rendimiento económico para el pescador.

Así mismo, es necesario plantear escenarios de manejo adecuados que consideren los periodos de reproducción de la especie; una observación interesante es que las trampas no capturan ejemplares

menores a la talla de primera madurez de *M. panamensis*. Otra vertiente para explorar es la pesca de cangrejo araña a profundidades mayores a los 200 m en los meses de junio a septiembre, donde pudiera ser sujeto de pesca por embarcaciones mayores con trampas mayores y con maniobras similares a las empleadas para extraer el Cangrejo Real *Paralithodes camtschatica* en Alaska; las especies realizan migraciones a mayores profundidades durante el verano y otoño, fechas que sería más factible pescar estas especies.

Consideraciones finales y perspectivas

Sin duda México es un país rico por la diversidad de especies marinas, particularmente la región del noroeste aporta el mayor porcentaje de producción pesquera. Sin embargo, la pesca enfrenta varios retos, problemas socioeconómicos y ambientales, además de conflictos políticos; entre ellos, la pesca se concentra en pocas especies, que en su mayoría se encuentran explotados a sus máximos rendimientos. Asimismo, la producción pesquera no cubre la demanda nacional y estamos importando pescados y mariscos de otros países. Además de lo anterior, nos encontramos ante un fuerte reto por venir: las afectaciones que generara el calentamiento global en los ecosistemas, con disminuciones en las abundancias de muchas especies, cambios en las distribuciones de muchas especies, entre otros. Dado lo anterior, es urgente considerar seriamente los recursos que tienen potencial de convertirse en recursos pesqueros, como el cangrejo araña que es abundante frente a las costas del centro y sur de Sonora. El aprovechamiento del cangrejo araña puede incrementar las capturas, generar alimentos saludables, ingresos, empleo y divisas. Sin embargo, es importante resaltar que el aprovechamiento de nuevos recursos implica un uso racional, lo cual requiere del conocimiento biológico y ecológico de las especies. Para ello, es necesario iniciar con un esquema de pesca de fomento para generar nuevo conocimiento de las poblaciones y reevaluar las biomásas explotables, con la finalidad de iniciar el desarrollo de la pesquería en el marco de un buen manejo pesquero, de manera ordenada y sostenible.

Finalmente, es nuestra misión contribuir con la generación y divulgación del conocimiento de frontera, ofrecer nuevas alternativas de uso, manejo y preservación de los recursos naturales marinos con potencial al sector pesca, en particular a los pescadores ribereños del noroeste de México.



Agradecimientos

A Fundación Produce Sonora, a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Estado de Sonora, a los pescadores de los campos pesqueros de El Choyudo, La Manga y Bahía de Lobos, Sonora por su participación en los muestreos del cangrejo araña y al técnico pesquero Everardo Miranda Mier.

Literatura citada

- Aguilar-Ramírez, D., H. Haro-Avalos, E. Márquez-García, R. Villaseñor-Talavera, A. Balmori-Ramírez, I. Rivera-Parra, M.O. Nevárez-Martínez. 2025. *Análisis Global de la Pesca y la Acuicultura 2025. Desafíos, Oportunidades y Perspectivas para México*. Sindicato Democrático de Trabajadores de Pesca y Acuicultura (SIDTPA-SADER). Ciudad de México, México. 77pp.
- Aguirre-Villaseñor, H., D. Petatán-Ramírez, H.N. Morzaria-Luna, M. Walther, Z.M. Rodríguez-Flores, N.I. Zamora-García, A.L. Núñez-Orozco, A. Labastida-Che, M.E. Zarate-Becerra, M.S. Zúñiga Flores, E. Espino-Barr. 2025. *Impacts of climate change on the distribution of the Pacific red snapper (Lutjanus peru) in Mexico*. Ocean & Coastal Management. (264): 107601.
- Balart Páez, E.F. 1996. *RECURSO LANGOSTILLA*. pp. 168-180. En: Casas Valdez, M. y G. Ponce Díaz (Eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Ciudad de México, México. 317 pp.
- Bonfil, R. y A. Carvacho. 1989. *The Crabs Of Bahia de Todos Santos, Baja California. Part 1. Dromiidae, Leucosiidae, Majidae And Parthenopidae (Crustacea: Decapoda: Brachyura)*. Ciencias Marinas. 15(2): 79-109.
- Cavieses-Nuñez, R., Q. Lu, H.N. Morzaria-Luna, P. Mallick, S. Kumara, C.R. Navarrete-Torices, G. Cruz-Piñón, S. Buechler, K. Lopez-Olmedo. 2025. *Assessing climate change impacts for small-scale fisheries in the Gulf of California using Deep Learning*. bioRxiv 2025.03.28.645356.
- Clarke, T. M., G. Reygondeau, C. Wabnitz, R. Robertson, M. Ixquiac-Cabrera, M. López, A.R. Ramírez Coghi, J.L. del Río Iglesias, I. Wehrtmann, W.W.L. Cheung. 2021. *Climate change impacts on living marine resources in the Eastern Tropical Pacific*. Diversity and Distributions. 27(1): 65-81.

- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2024. *Cierra Agricultura 2024 con resultados positivos en pesca y acuacultura*. En: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/cierra-agricultura-2024-con-resultados-positivos-en-pesca-y-acuacultura-387149#:~:text=Con%20cifras%20preliminares%20de%20los,30%20de%20noviembre%20de%202024> (consultado el 15/05/2025).
- Diario Oficial de la Federación. 2023. *ACUERDO mediante el cual se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera*. En: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892410/CNP_2023.pdf, (consultado el 13/05/2025).
- Díaz-Uribe, J.G., V.M. Valdez-Ornelas, G.D. Danemann, E. Torreblanca-Ramírez, A. Castillo-López y M.A. Cisneros-Mata. 2013. *Regionalización de la pesca ribereña en el noroeste de México como base práctica para su manejo*. Ciencia Pesquera. 21(1): 41-54.
- Dvoretsky, A.G., V.G.Dvoretsky. 2009. *Fouling community of the red king crab, Paralithodes camtschaticus (Tilesius 1815), in a subarctic fjord of the Barents sea*. Polar Biology. (32): 1047-1054.
- Espinoza-Tenorio, A., I. Espejel, M. Wolff. 2011. *Capacity building to achieve sustainable fisheries management in Mexico*. Ocean & Coastal Management. 11 (54): 731-741.
- Fang, X., Y. Zhang. 2025. *The impact of climate change and economic development on the catches of small pelagic fisheries*. Marine Policy. (175): 106631.
- FAO. 2022. *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. En: https://mexico.un.org/sites/default/files/2022-06/cc0463es_0.pdf, (consultado el 13/05/2025).
- FAO. 2024. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. En: <https://openknowledge.fao.org/items/23317adf-15ec-402d-9989-1b2f426e3cc0>, (consultado el 13/05/2025).
- FAO México. 2025. *Pesca artesanal es clave para lograr la seguridad alimentaria*. En: <https://www.fao.org/mexico/noticias/detail-events/es/c/1029160/>, (consultado el 05/05/2025).



- Fernández, J.I., P. Álvarez-Torres, F. Arreguín-Sánchez, L.G. López-Lemus, G. Ponce, A. Díaz-de-León, E. Arcos-Huitrón y P. del Monte-Luna. 2011. *Coastal Fisheries of Mexico*. En: Salas S., R. Chuenpagdee, A. Charles y J.C. Seijo (Eds.). *Coastal Fisheries of Latin America and the Caribbean*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Roma, Italia. 430 pp.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter, V.H. Niem. 1995. *Guía FAO para la Identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados-Parte 1*. FAO. Roma, Italia. 1200 pp.
- Gallardo Lagno, A., J. Aguilar-Manjarrez, R. Norambuena Cleveland, A. Mienert Rauna y C. Ivanovic Willumsen. 2023. *Caracterización de la pesca y la acuicultura artesanal en pequeña escala en América del Sur y recomendaciones de políticas públicas*. FAO. Santiago de Chile, Chile. 134 pp.
- Hendrickx, M.E. 1989. *Nueva distribución y tamaño record de Maiopsis panamensis Faxon y Stenocionops ovata (Bell) (Crustacea: Decapoda: Majoidea) en el Golfo de California México*. Investigaciones Marinas CICIMAR. 2(4): 285-290.
- Hendrickx, M. E., R. Pérez-González, y L.M. Flores-Campaña. 1992. *Identificación y colectas del cangrejo araña Maiopsis panamensis Faxon, 1895 (Brachyura: Majidae) en el Pacífico este tropical*. Ciencias del Mar. (12): 31-34.
- Hendrickx, M.E. 1995. *Checklist of lobster-like decapod crustaceans (Crustacea: Decapoda: Thalassinidea, Astacidea and Palinuridea) from the eastern tropical Pacific*. Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología. 2(66): 151-163.
- Hernández-Llamas, A., E.F. Balart, G. Ponce-Díaz y R. Civera-Cerecedo. 2006. *Feasibility of a new fishery in Baja California, Mexico based on the red crab Pleuroncodes planipes: preliminary economic evaluation and risk assessment*. Aquatic Living Resources. 2(19): 173-179.
- Kruse, G.H., B.J. Daly, E.J. Fedewa, D.L. Stram, C.S. Szuwalski. 2025. *Ecosystem-based fisheries management of crab fisheries in the Bering Sea and Aleutian Islands*. Fisheries Research. (281): 107236.
- Kuzmin, S.A., E.N. Gudimova. 2002. *Introduction of the Kamchatka (Red King) Crab in the Barents Sea: Peculiarities of Biology, Perspectives of Fishery*. Kola Scientific Center Publishing House. Apatity, Rusia. 236 pp.

- Lluch-Cota, S.E., A. Parés-Sierra, V.O. Magaña-Rueda, F. Arreguín-Sánchez, G. Bazzino, H. Herrera-Cervantes, D. Lluch-Belda. 2010. *Changing climate in the Gulf of California*. Progress in Oceanography. 1-4(87): 114-126.
- López-Martínez, J., E. Chavez, S. Hernandez-Vazquez, E. Alcantara-Razo. 1999. *Potential yield of a rock shrimp stock, Sicyonia penicillata in the northern Gulf of California*. Crustaceana. 6(72): 581-590.
- López-Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, R. Morales-Azpeitia, C. Salinas-Zavala. 2002. *Stock assessment and potential yield of the rock shrimp, Sicyonia penicillata, fishery of Bahía Kino, Sonora, Mexico*. Fisheries Research. 1-2(59): 71-81.
- López Martínez, J., C. Rábago Quiroz, R. Morales Azpeitia, E. Alcántara Razo, J. Padilla Serrato, E. Herrera Valdivia, C. Rodríguez Jaramillo, E. Meza Chávez, E. Reyes Benítez, J. Rodríguez Romero, E. Balart Páez. 2007. *Abundancia de las especies de camarón que habitan en profundidades mayores a 50 brazas en el Golfo de California. Informe final*. Financiado por Fondo SAGARPA-CONACYT. 207 pp.
- López Martínez, J., J. Álvarez Tello, E.A. Arzola Sotelo, E. Herrera Valdivia, R. Morales Azpeitia, H. Herrera Cervantes, M.O. Nevárez Martínez, J.G. Padilla Serrato, R. García Morales, J.E. Valdez Holguín. 2017. *El cambio climático y la población de medusa Stomolophus meleagris en el Golfo de California*. pp. 105-111. En: Instituto de Ecología y Cambio Climático (Ed.). Memorias del primer encuentro científico y técnico fondo sectorial de investigación ambiental. SEMARNAT-CONACYT. Ciudad de México, México. 271 pp.
- López-Martínez, J., C.H. Rábago-Quiroz, E.A. Arzola-Sotelo, R. Morales-Azpeitia, A. Acevedo-Cervantes. 2019. *Distribution and population dynamics of the rock shrimp Sicyonia ingentis and Sicyonia penicillata (Decapoda: Sicyoniidae) in the Gulf of California*. Latin american journal of aquatic research. 3(47): 524-535.
- Lorentzen, G., G. Voldnes, R.D. Whitaker, I. Kvalvik, B. Vang, R.G. Solstad, M.R. Thomassen, S.I. Siikavuopio. 2018. *Current Status of the Red King Crab (Paralithodes camtschaticus) and Snow Crab (Chionoecetes opilio) Industries in Norway*. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 1(26): 42-54.



- Mathew, S. 2002. *Small-scale fisheries perspectives on an ecosystem-based approach to fisheries management*. pp. 47-63. En: Sinclair, M y G. Valdimarsson (Eds.). *Responsible fisheries in the Marine Ecosystem*. FAO – CABI Publishing. Wallingford, Reino Unido. 464 pp.
- McClure, M.M., M.A. Haltuch, E. Willis-Norton, D.D. Huff, E.L. Hazen, L.G. Crozier, M.G. Jacox, M.W. Nelson, K.S. Andrews, L.A.K. Barnett, A.M. Berger, S. Beyer, J. Bizzarro, D. Boughton, J.M. Cope, M. Carr, H. Dewar, E. Dick, E. Dorval, J. Dunham, V. Gertseva, C.M. Greene, R.G. Gustafson, O.S. Hamel, C.J. Harvey, M.J. Henderson, C.E. Jordan, I.C. Kaplan, S.T. Lindley, N.J. Mantua, S.E. Matson, M.H. Monk, P. Moyle, C. Nicol, J. Pohl, R.R. Rykaczewski, J.F. Samhuri, S. Sogard, N. Tolimieri, J. Wallace, C. Wetzel, S.J. Bograd. 2023. *Vulnerability to climate change of managed stocks in the California Current large marine ecosystem*. *Frontiers in Marine Science*. (10): 1103767.
- Moscoso, V. 2012. *Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú*. Boletín Instituto del Mar del Perú. 1-2(27): 8-207.
- Páez-Osuna, F., J.A. Sánchez-Cabeza, A.C. Ruiz-Fernández, R. Alonso-Rodríguez, A. Piñón-Gimate, J.G. Cardoso-Mohedano, F.J. Flores-Verdugo, J.L. Carballo, M.A. Cisneros-Mata, S. Álvarez-Borrego. 2016. *Environmental status of the Gulf of California: A review of responses to climate change and climate variability*. *Earth-Science Reviews*. (162): 253-268.
- Pavlova, L. V. 2008. *Red king crab trophic relations and its influence on bottom biocenoses*. pp. 77-104. En: Matishov, G.G. (Ed.). *Biology and physiology of the red king crab from the coastal zone of the Barents Sea*. Kola Scientific Center Publishing House. Apatity, Rusia.
- Ponce Díaz, G., L.F. Beltrán Morales, S. Hernández Vázquez y E. Serviere Zaragoza. 2009. *Pesca ribereña: retos y oportunidades en un entorno adverso*. pp. 177-196. En: Urciaga García, J., L.F. Beltrán Morales y D. Lluch Belda (Eds.). *Recursos Marinos y Servicios Ambientales en el Desarrollo Regional*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, México. 347 pp.
- Pronatura noroeste. 2024. *Avances hacia la sostenibilidad de las pesquerías en el noroeste de México*. En: <https://pronatura-noroeste.org/avances-sostenibilidad-pesquerias-noroeste-mexico/>, (consultado el 09/04/2025).

- Ramírez-Rodríguez, M. 2009. *Pesquerías de pequeña escala en el Noroeste de México*. pp 157-176. En: Urciaga García, J., L.F. Beltrán Morales y D. Lluch Belda (Eds.). Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, México. 347 pp.
- Rodríguez-Jaramillo, C., J. López-Martínez, E. Herrera-Valdivia, C.H. Rábago-Quiroz. 2021. *Reproduction in the spider crab Maiopsis panamensis (Decapoda: Majoidea) in the Gulf of California*. Invertebrate Biology. 3(140): e12342.
- Stesko, A.V., S.V. Bakanev. 2021. *Bycatches of the red king crab in the bottom fish fishery in the Russian waters of the Barents Sea: assessment and regulations*. ICES Journal of Marine Science. 2(78): 575-583.
- Thorne, K.M., G.M. MacDonald, F.P. Chavez, F. P., R.F. Ambrose, P.L. Barnard. 2024. *Significant challenges to the sustainability of the California coast considering climate change*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 32(121): e2310077121.
- Vargas-Castillo, R. 2008. *Estomatópodos y decápodos (Crustacea), de la expedición RV Urracá-STR/ (2005) en las costas del Pacífico central y norte de Costa Rica*. Revista de Biología Tropical. 4(56): 105-112.
- Villalejo-Fuerte, M., M. Arellano-Martínez, B.P. Ceballos-Vazquez. 1998. *Fecundity of the Panamic spidercrab Maiopsis panamensis Faxon, 1893 (Brachyura: Majidae) in the Gulf of California, Mexico*. Journal of Shellfish Research. 1(17): 299-301.
- Villalejo-Fuerte, M., B.P. Ceballos-Vázquez, M. Arellano-Martínez, F. García Domínguez. 2001. *Contribution to the biology of the spider crabs Maiopsis panamensis Faxon, 1893 and Stenocionops ovata (Bell, 1835) (Decapoda: Majoidea) from the Gulf of California, Mexico*. Biología de Biología Marina y Oceanografía. 2(36): 199 – 203.
- Von Prael, H., F. Guhl. 1984. *Nuevas localidades para cangrejos Majidae colectados en el Pacífico colombiano*. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. 1(11): 159-193.
- Wehrtmann, I.S., S. Echeverría-Sáenz. 2007. *Crustacean fauna (Stomatopoda: Decapoda) associated with the deepwater fishery of Heterocarpus vicarius (Decapoda: Pandalidae) along the Pacific coast of Costa Rica*. Revista de Biología Tropical. 1(55): 121-130.



Wicksten, M.K. 1979. *Range, Size, and Feeding of Maiopsis Panamensis Faxon (Brachyura: Majidae)*. Bulletin of Marine Science. 4(29): 598-599.

Zambrano-Medina, Y.G., W. Plata-Rocha, S.A. Monjardin-Armenta, C. Franco-Ochoa. 2023. *Assessment and forecast of shoreline change using geo-spatial techniques in the Gulf of California*. Land. 4(12): 782.

Cita

López-Martínez, J., E. Herrera-Valdivia, R. Morales -Azpeitia, S. S. González-Peláez, H. Bervera-León, E. B. Farach-Espinoza, E. Larios-Castro. La pesca ribereña y los recursos potenciales del Noroeste de México: Los cangrejos araña. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 185-208. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0012>

Sometido: 30 de mayo de 2025

Aceptado: 8 de julio de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Knowing Our Roots: Environmental Education for the Protection of Mangroves

Conociendo nuestras raíces: Educación ambiental para la protección de los manglares

Brayan Yahir de la Cruz Lopez¹, Paola Magallón Servín²,
Nancy Elizabeth Wence Partida³ y J. Jesús Bautista Romero^{4*}

Resumen

Los manglares son ecosistemas esenciales para las comunidades costeras, no solo por los servicios ambientales que brindan, sino también por su profundo valor social y cultural. En el noroeste de México, muchas niñas y niños viven cerca de estos ecosistemas sin conocer su importancia en la identidad local, las tradiciones y el bienestar comunitario. Frente a amenazas como el crecimiento urbano, el turismo desmedido, la contaminación y el cambio climático, resulta fundamental fortalecer la educación ambiental desde edades tempranas, integrando el conocimiento científico con las realidades culturales del territorio. Bajo ese contexto, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC, a través de su Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación, está desarrollando un programa educativo que utiliza estrategias de divulgación científica y recursos didácticos adaptados a los entornos locales para sensibilizar a estudiantes de primaria sobre la relevancia ecológica, social y cultural de los manglares. Las actividades lúdicas, visualmente atractivas y contextualizadas, han generado una participación entusiasta entre los niños y niñas, favoreciendo una conexión socioemocional con su entorno. A través de este enfoque integrador, el programa busca no solo informar, sino también fortalecer el arraigo comunitario y el sentido de pertenencia con impacto a corto, mediano y largo plazo en las familias y comunidades, como parte de un modelo de extensionismo educativo.

¹ Especialidad para el Bienestar Comunitario en Manejo Costero, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC

² Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC

³ Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Red de Ambiente y Sustentabilidad, Instituto de Ecología AC

⁴ Laboratorio de Modelación y Pronóstico Pesquero, Programa de Ecología Pesquera, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC

* autor de correspondencia: jbautista@cibnor.mx



Palabras clave: Educación ambiental, mangle, conservación, aprendizaje infantil, material didáctico.

Antecedentes

Importancia de los manglares y sus amenazas

Los manglares no son solo árboles en la frontera entre el mar y la tierra: son verdaderas fábricas de vida. Conocer su funcionamiento integral es clave tanto para comprender su valor ecológico, social y económico, como las amenazas a las que están siendo sujetos (Figura 1).

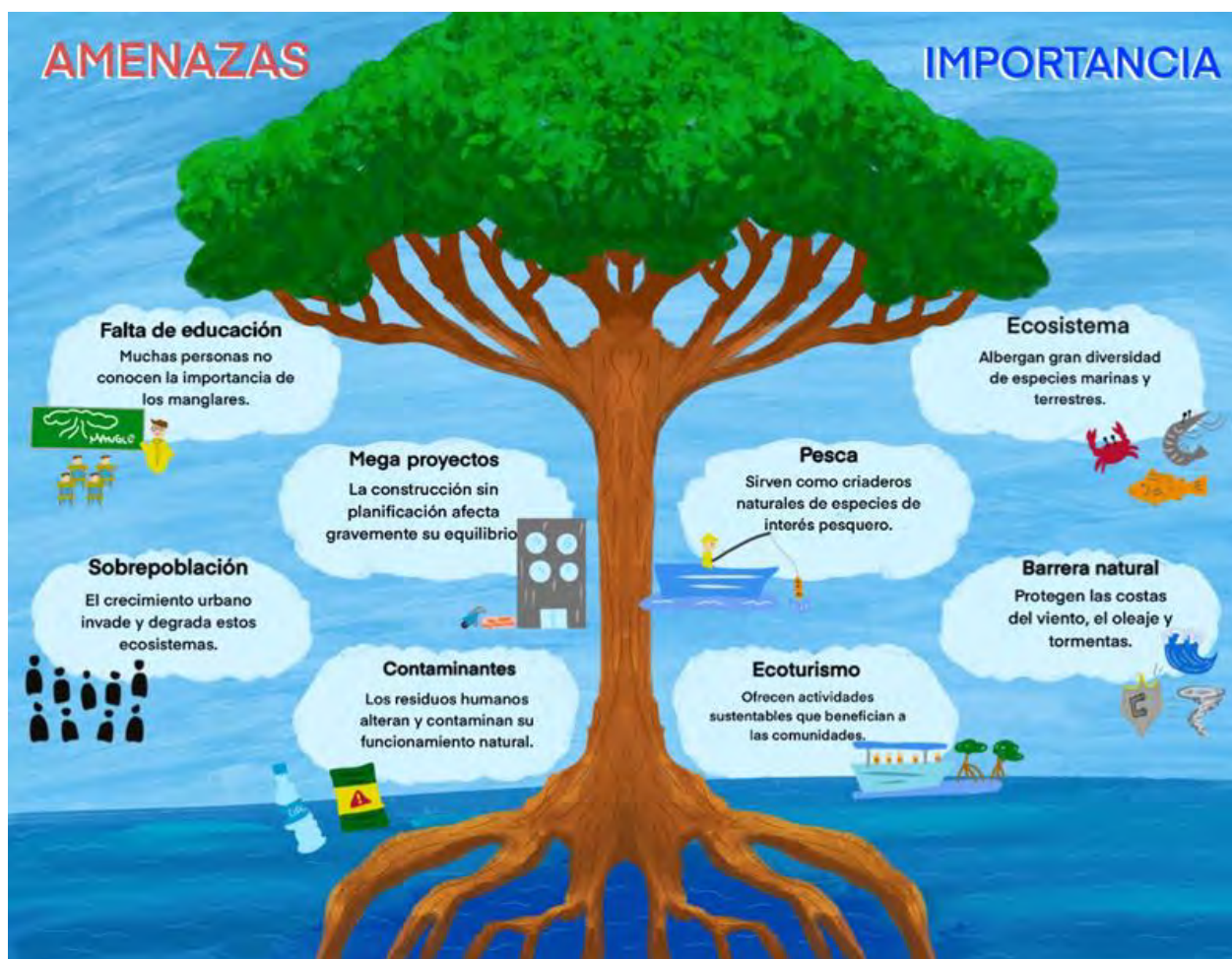


Figura 1: Importancia y amenazas de los manglares. Por un lado, se anotan los principales beneficios de los manglares para las actividades humanas, tales como el ecoturismo y la pesca, así como su función como barreras naturales ante eventualidades naturales. Por el otro, se indican las amenazas a las que se enfrentan, incluyendo su susceptibilidad a los contaminantes, su deforestación a causa de megaproyectos y sobrepoblación, así como la limitada educación ambiental disponible para su protección.

Entre sus múltiples funciones, destacan sus raíces entrelazadas que permiten que muchos organismos marinos (peces, crustáceos, moluscos, etc.) encuentren un refugio natural durante sus primeras etapas de vida, donde se protegen de depredadores y encuentran una gran cantidad de alimento (Nagelkerken, 2008). Además de su relevancia ecológica local, los manglares brindan beneficios clave a escala global. Su capacidad para capturar y almacenar grandes volúmenes de dióxido de carbono (principal gas responsable del cambio climático) los convierte en aliados estratégicos en la lucha contra el calentamiento global (Donato *et al.*, 2011). Esta función como sumideros de carbono es complementada por su alta biodiversidad, cuyo mantenimiento resulta esencial para la estabilidad de múltiples servicios ecosistémicos fundamentales (Valiela *et al.*, 2001).

Asimismo, los manglares funcionan como barreras naturales que protegen a las comunidades costeras frente a fenómenos climáticos extremos como tormentas, olas e incluso huracanes. Sus raíces ayudan a compactar el suelo y prevenir la erosión, mientras que las copas de los árboles amortiguan el impacto del viento y el agua (Alongi, 2002). De esta manera, los manglares no solo sostienen la vida marina, sino que también resguardan medios de vida humanos y contribuyen a la salud de los ecosistemas costeros.

A pesar de sus múltiples beneficios los manglares se encuentran amenazados. El crecimiento urbano, el turismo inadecuado y la contaminación, principalmente por residuos sólidos y aguas residuales, fragmentan estos ecosistemas, lo que conlleva a una degradación progresiva de la calidad ambiental en las zonas costeras en que habitan (Li, *et al.*, 2023).

Sin embargo, una amenaza menos visible pero muy importante es la falta de conexión y apropiación social del conocimiento sobre el valor de los manglares. Cuando las personas no sienten que estos ecosistemas forman parte de su vida y cultura, resulta más difícil generar el compromiso necesario para su protección y cuidado. Por ello, es fundamental fomentar su conocimiento desde la infancia, especialmente en regiones como el noroeste de México, donde muchas niñas y niños viven a escasa distancia de estos ecosistemas sin tener conciencia de sus funciones y del valor de conservarlos.

Promoción del conocimiento científico en la niñez desde los centros de investigación

Promover el conocimiento científico en las primeras etapas de educación formal es una tarea conjunta, las escuelas, las familias y las políticas públicas son clave para llevar la ciencia a los niños y niñas (Lewis *et al.*, 2023), pero los científicos y los centros de investigación tienen un papel importante que a menudo se ignora.



Debe asumirse con claridad que las personas y comunidades que crean conocimiento científico tienen una responsabilidad ética de compartirlo de manera comprensible, relevante y significativa dentro de su propio contexto cultural. Cuando el conocimiento no se conecta con las experiencias, valores e identidad de una comunidad, no se convierte en parte de su vida cotidiana ni genera compromiso. Por el contrario, compartir conocimiento de forma culturalmente significativa (utilizando ejemplos, lenguaje y prácticas locales) permite que las personas se sientan parte activa del proceso, y facilita la apropiación social del conocimiento, lo cual fortalece la acción colectiva para la protección del entorno natural. Por ello, no es suficiente con publicar en revistas especializadas; es necesario convertir ese conocimiento en experiencias que fomenten la curiosidad, el pensamiento crítico y la conexión con la naturaleza desde la infancia.

Desde esa perspectiva, se debe considerar que los centros de investigación no solo deben generar conocimiento, sino también hacerlo accesible, involucrándose activamente con las comunidades y contribuyendo a la educación científica de las nuevas generaciones. Esto es especialmente importante en contextos donde el conocimiento puede convertirse en una herramienta para cuidar, transformar y proteger el medio ambiente. Al respecto, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) cuenta, desde el año 2001, con el Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación (PACE), que mediante diferentes actividades impulsa de forma gratuita la enseñanza de la ciencia a estudiantes de todos los niveles.

Actualmente, a través del PACE, se desarrolla un programa educativo orientado a sensibilizar a estudiantes de primaria sobre el cuidado del ambiente, utilizando los manglares como modelo y empleando herramientas de divulgación científica. Para ello, se han creado materiales educativos interactivos y accesibles que transforman la complejidad científica en conocimientos comprensibles y relevantes para la infancia. El propósito no es únicamente explicar qué es un manglar, sino también fomentar una relación emocional con este ecosistema. Solo a través del conocimiento y del afecto será posible formar generaciones comprometidas con su protección.

En la siguiente sección se presenta una revisión de aspectos fundamentales relacionados con la divulgación científica con el fin de fomentar la conciencia ambiental en niños y niñas de primaria, con especial énfasis en los manglares. Posteriormente, se detallan las actividades iniciales destinadas a consolidar el programa educativo al que se ha aludido. En última instancia, se exponen consideraciones derivadas del trabajo realizado en la transferencia social del conocimiento y el fortalecimiento educativo en torno al manglar hasta el momento, así como las perspectivas futuras.

Formación ambiental y apropiación del conocimiento científico en la infancia: el caso de los manglares

El papel de la educación ambiental en la protección de los ecosistemas

Hoy en día, habitamos en un mundo marcado por la pérdida acelerada de biodiversidad, la contaminación ambiental y el cambio climático. Por ello, una estrategia primordial para fomentar una cultura de respeto y cuidado hacia la naturaleza, es inculcar la educación ambiental desde la infancia. En la educación primaria, que es cuando se forman las bases mentales, emocionales y éticas de las personas, enseñar sobre la comprensión y protección de los ecosistemas tiene beneficios positivos a corto, mediano y largo plazo (López Helguero y Aguirre Coello, 2025). En los primeros años de escolaridad, los niños atraviesan fases de desarrollo cognitivo que les permiten establecer relaciones causales, identificar patrones naturales y formular explicaciones sobre su entorno. La utilización de estas habilidades, a través de una educación ambiental de relevancia, trasciende la simple instrucción de contenidos científicos; requiere la promoción de experiencias de interacción directa con la naturaleza, el fomento de la curiosidad y el robustecimiento del sentido de responsabilidad hacia los organismos vivos y los ecosistemas (García, 2022).

Investigaciones como las de López Helguero y Aguirre Coello (2025) han demostrado que difundir temas ambientales entre estudiantes de educación primaria contribuye de manera significativa a la formación de actitudes positivas hacia el cuidado del medio ambiente. Esto les permite comprender que los ecosistemas no son entidades abstractas, sino sistemas vivos de los cuales todos formamos parte y de cuya salud depende nuestro bienestar (Barrable y Booth, 2020). Este impacto se amplifica a través de instrumentos pedagógicos apropiados que promueven el desarrollo cognitivo, la motivación y la participación de los estudiantes (Guerrero-Haro *et al.*, 2022). Para niñas y niños de ese nivel es especialmente importante utilizar recursos didácticos lúdicos, visuales y experienciales que influyen en los hábitos diarios en beneficio de su entorno, como el uso racional del agua, la apropiada separación de residuos o la elección de medios de transporte amigables con el medioambiente (Ballantyne *et al.* 2006). En este sentido, los estudiantes se convierten en agentes de cambio, capaces de expandir el impacto educativo más allá de las aulas (López Helguero y Aguirre Coello, 2025).

Además, los contenidos ambientales a menudo son tratados de manera superficial o como temas secundarios en su actividad escolar (UNESCO, 2020). Para superar dichas restricciones, se requiere impulsar políticas públicas que identifiquen la educación ambiental como una prioridad educativa,



además de fomentar la creación de alianzas entre instituciones educativas, comunidades y organizaciones de la sociedad.

Estrategias de divulgación científica en escuelas primarias

La divulgación científica en las escuelas es clave para acercar el conocimiento científico a niños y niñas. Aunque la educación en ciencias está presente en los planes de estudio, la divulgación científica es algo diferente, con ella se busca fomentar la curiosidad, desarrollar el pensamiento crítico e incrementar el interés por entender el mundo natural (Ortega-Quevedo y Gil-Puente 2019). Por ello, las estrategias de divulgación en las escuelas primarias deben ser simples, creativas y promover la participación, para tener un gran impacto en la implementación de una cultura científica y adaptarse a lo que los niños pueden entender y sentir, utilizando métodos activos, sensoriales y narrativos.

Varias maneras de hacer divulgación científica han demostrado ser útiles en las escuelas primarias, especialmente cuando se adaptan a las realidades socioculturales de los estudiantes. Una de ellas es la creación de talleres científicos, que estimulan la curiosidad y la creatividad mediante la experimentación guiada y el uso de materiales simples relacionados con las materias escolares. Estos talleres ayudan a mejorar habilidades como observar y comunicar científicamente (Flores-Mejía *et al.*, 2024). Otra estrategia clave son las ferias científicas en las escuelas, donde los estudiantes presentan sus proyectos. Estas ferias les ayudan a ser más independientes, a colaborar con otros y a compartir lo que saben. Promueven el aprendizaje y el sentimiento de pertenencia, y son lugares donde la comunidad educativa se relaciona con su entorno social (Zubieta-López 2017). Además, la visita de científicos a las aulas es muy inspiradora porque permite a los estudiantes conocer de cerca el trabajo científico y explorar más opciones de carrera. Iniciativas en ese sentido han mejorado la percepción de la ciencia en la sociedad y buscan incentivar las vocaciones científicas desde una edad temprana (Bonney *et al.*, 2009).

Bajo ese contexto, usar recursos entretenidos y visuales, como cuentos, cómics, marionetas, juegos y animaciones, e incluso el uso de pizarrones magnéticos (imanógrafos) facilita la comprensión de conceptos difíciles y mejoraron significativamente la motivación y el rendimiento de los estudiantes (Guerrero-Haro *et al.*, 2021). Particularmente, en el ámbito costero se han desarrollado senderos interpretativos con paneles y folletos de campo, juegos de mesa temáticos, programas de radio comunitaria con secciones de preguntas y respuestas y plataformas digitales basadas en datos reales de biodiversidad, complementados con prototipos de realidad aumentada subacuática para

niños (Ghilardi-Lopes *et al.*, 2019). Es importante tener en cuenta que, sin importar qué estrategia se use para comunicar información, hay que ajustar los contenidos científicos al contexto local. Considerando primordialmente la cultura y el lenguaje, esto hace que el aprendizaje sea más significativo y relevante (Yazidi y Rijal 2024).

Otro aspecto considerado es que el docente participe activamente, no solo como alguien que da información, sino también como un puente entre el conocimiento científico y la realidad del aula. Por eso, se requieren programas de formación continua para maestros, con la finalidad de mejorar sus habilidades de comunicación, diseño de actividades educativas y colaboración con otras áreas (Santana-Castro, 2025). Sin el compromiso y la motivación de los maestros, muchas actividades de divulgación suelen ser solo eventos aislados, sin lograr una integración duradera en el proyecto educativo.

Los manglares como modelo de divulgación científica para fomentar la conservación de la naturaleza

Usar los manglares como ejemplo de divulgación científica es muy adecuado por su importancia ecológica, facilidad de acceso y posibilidades educativas. Estos ecosistemas son un excelente lugar natural para enseñar conceptos importantes de ecología, biología y ciencias de la Tierra y otros conocimientos transversales, tal como lo indica la Nueva Escuela Mexicana (NEM). Su estructura complicada —como raíces aéreas, animales adaptados a ambientes salinos, ciclos de marea e interacciones entre especies— muestra principios útiles para estudiar y enseñar temas como la adaptación, flujos de energía e interdependencia ecológicas complejas. Así como otras asignaturas básicas que pueden utilizar este instrumento local y regional como insignia de proyectos comunitarios con el fin de fomentar pertinencia en los conocimientos a nivel básico. Además, estar cerca de comunidades costeras, como la ciudad de La Paz, facilita la realización de actividades educativas al aire libre, como visitas guiadas o monitoreo participativo.

Desde el punto de vista de la divulgación científica, los manglares son importantes por su gran belleza, experiencia sensorial y significado. La oportunidad de vivir los sonidos, olores y paisajes tiene un gran impacto emocional que ayuda a un aprendizaje que realmente importa y a crear un lazo afectivo con la naturaleza (Ballantyne y Packer, 2005). Estas cualidades se pueden mejorar con centros de interpretación, senderos ecológicos o materiales audiovisuales hechos para diferentes públicos. Además, los manglares brindan una oportunidad especial para mostrar los beneficios que proporcionan al medio ambiente: absorción de carbono, protección de las costas durante tormentas



y refugio para especies importantes como peces, crustáceos, moluscos, etc. (Alongi, 2002; Lee et al., 2014). Explicar estos beneficios de forma sencilla refuerza la razón ética y práctica para conservarlos.

El uso de los manglares como modelo educativo también facilita la incorporación de enfoques interdisciplinarios que articulen ciencia, cultura y desarrollo local. En múltiples regiones de América Latina, estos ecosistemas poseen un valor sociocultural significativo, vinculado a prácticas tradicionales, conocimientos locales y festividades comunitarias. Integrar estos saberes a la divulgación científica enriquece la narrativa y promueve una educación ambiental crítica e intercultural (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

Primeros pasos de un programa de divulgación científica: construyendo los materiales didácticos

Enseñanza contextualizada y construcción compartida del conocimiento

Para utilizar los ecosistemas de manglar como herramienta de divulgación, es importante presentar la información científica de manera clara y adaptada a diferentes contextos socioculturales. Esto ayuda a enseñar de mejor manera temas complicados como la conservación del medio ambiente; aprender a través de experiencias sensoriales y visuales ayuda a que las niñas y niños recuerden mejor (Guerrero-Haro et al, 2021). Por eso, esta iniciativa quiere cambiar la forma en que se enseña sobre los manglares, dejando atrás métodos pedagógicos tradicionales de enseñanza, basados en la transmisión del conocimiento unidireccional y reforzados con tareas repetidas de memorización. Como alternativa se buscan enfoques más activos y participativos en donde la enseñanza se vaya construyendo de forma compartida y mediante la exposición a actividades lúdicas.

Para iniciar un programa de divulgación científica enfocado en la conservación de manglares, es básico transformar el conocimiento técnico en materiales educativos que sean claros, interesantes y que tomen en cuenta la cultura local (UNESCO, 2025). A continuación, se describen nuestros primeros pasos en la creación de materiales didácticos interactivos. Comenzamos por conocer las preferencias de los niños y luego aplicamos prototipos, evaluándolos en el campo. Con un diseño colaborativo (metodología de acción participativa) que incluye a maestros, estudiantes y comunidades locales, y usando ilustraciones, juegos y objetos reciclados, se pretende no solo dar información, sino también crear una experiencia de aprendizaje que vincule la teoría con la vida diaria.

Diseño y aplicación de materiales didácticos

El proceso de creación comenzó con un diagnóstico que se hizo mediante encuestas personales, semiestructuradas y de formato abierto, dirigidas a estudiantes de primaria de todos los niveles y a sus padres. Sobre esa base se identificaron actividades que les interesan a los niños y formas de aprender y jugar que prefieren, tanto en la clase como en casa. Los resultados mostraron una clara preferencia por materiales que promueven la participación activa y sensorial. Se destacaron especialmente los libros para colorear y los juegos de mesa, ya que ayudan a despertar la imaginación, facilitar la interacción social y fortalecer el aprendizaje mediante el juego. Estas interacciones ayudaron a elaborar prototipos educativos que se adaptan a las necesidades, intereses y contextos culturales de los niños, buscando ofrecer una experiencia de aprendizaje más valiosa, aprovechando su capacidad de conexión emocional y cognitiva.

Lo anterior sirvió para crear el Prototipo #1 (Figura 2), priorizando un enfoque visualmente atractivo, acorde con las preferencias identificadas. Las ilustraciones fueron desarrolladas con la aplicación Procreate®, lo que permitió generar imágenes claras, coloridas y accesibles para el público infantil. El objetivo fue captar su atención y facilitar la comprensión de conceptos relacionados con los manglares mediante representaciones visuales contextualizadas. El material se imprimió en papel autoadherible y fue colocado en una estructura portátil hecha de cartón reciclado, en forma de maletín. También se incorporó una botella de plástico reciclado a la que se le dio forma de almeja y dentro de ella se incorporaron ilustraciones de fauna marina característica del manglar. Este componente interactivo funcionó como recurso lúdico para iniciar la conversación con los niños y facilitar su primer acercamiento al tema.



Figura 2. Prototipo #1 de material didáctico para educación ambiental sobre manglares. El diseño incorpora ilustraciones creadas en Procreate®, con un enfoque visual atractivo y adaptado al público infantil, basado en los intereses identificados en el diagnóstico inicial.

El Prototipo #1 fue implementado durante visitas piloto a escuelas primarias, lo que permitió observar directamente la interacción de los estudiantes con los contenidos y evaluar su funcionalidad en un contexto real. Estas actividades se llevaron a cabo en el marco de las “Kermés de la Ciencia” organizadas por el PACE (Figura 3) los martes del periodo escolar.



Figura 3. Aplicación del prototipo #1 durante los martes de “Kermés de la Ciencia” del PACE. La implementación en un contexto escolar real permitió observar la interacción del estudiantado con el material didáctico, así como recopilar datos sobre su funcionalidad, nivel de participación y recepción por parte de niñas y niños.

Durante estas visitas, se contempló un diario de campo para anotar las observaciones sobre cómo los estudiantes interactuaron con el prototipo. También se registraron datos sobre sus niveles de atención, participación y comprensión, además de aspectos prácticos como el uso y facilidad para transportar los materiales. En general, la recepción fue positiva: los niños mostraron entusiasmo y curiosidad, lo que indica que el formato visual e ilustrado captó su atención. Sin embargo, también surgieron áreas de mejora, como aumentar el tamaño de los elementos gráficos, ampliar la escala del diseño y no limitar el ángulo de visibilidad a solo 90°; ya que estos factores dificultaban la participación del grupo, principalmente de aquellos con muchos niños.

También, se aplicaron encuestas a estudiantes y profesores para evaluar la efectividad del recurso y se llevaron a cabo pláticas informales solo con docentes. A partir de ellas se identificó la necesidad de ofrecer materiales que estén más relacionados con su entorno local, ya que se destacó que hay pocos recursos para entender problemas urgentes.

Uno de los hallazgos más relevantes de las entrevistas fue que muchos profesores deben crear sus propios materiales didácticos fuera de su horario laboral, lo que representa una carga adicional y dificulta su labor educativa. Esta retroalimentación evidenció la necesidad de contar con

herramientas más pertinentes y adaptadas al contexto cultural y ecológico en el que se desarrolla el proceso de enseñanza.

Se tomaron en cuenta todos estos elementos para crear el Prototipo #2, llamado “Atlas del conocimiento”, que ahora está en fase de aplicación (Figura 4). Al comienzo, este material se usó en una visita a una comunidad involucrada en actividades agrícolas. Esto permitió comprobar su funcionamiento en un ambiente rural, a diferencia del primer prototipo, que solo se utilizó en escuelas urbanas.



Figura 4. Prototipo #2 de material didáctico para educación ambiental sobre manglares y su confrontación frente a la comunidad escolar. Esta fase piloto permitió evaluar las mejoras incorporadas al material didáctico, así como observar una mayor participación estudiantil gracias a las nuevas actividades incluidas en el diseño.

Los primeros resultados de la aplicación del Prototipo #2 muestran que los estudiantes estuvieron más involucrados y entusiasmados. Ellos se interesaron tanto por los temas como por la manera divertida en que se presentaron los contenidos sobre la conservación de los manglares. Estas primeras observaciones confirman que el material es útil, pero también se han encontrado áreas que pueden mejorar en futuras versiones. Es muy importante destacar que incluir a profesores y

estudiantes desde el principio mejora la conexión entre el recurso y la comunidad educativa, creando materiales que sean útiles, atractivos y duraderos para la educación ambiental.

Fundamento educativo y relevancia local

El uso de materiales didácticos interactivos y contextualizados para enseñar sobre manglares se basa en enfoques pedagógicos que destacan la importancia de vincular el aprendizaje con la vida cotidiana del estudiante. Roa-Rocha (2021) dijo que el pedagogo David Ausubel afirmaba que el aprendizaje es más significativo cuando la nueva información conecta con lo que ya sabe el alumno. En este proyecto en desarrollo, se ha observado que usar especies locales de plantas y animales en los materiales ayudó a los niños a reconocer su entorno y a aprender de manera más clara y duradera.

Consideraciones finales y perspectivas

A través de la aplicación de materiales didácticos que cubran necesidades, intereses y contextos culturales de los niños se pretende realizar actividades de divulgación científica para educar a las infancias en temas sobre el cuidado ambiental, utilizando como modelo de estudio a los ecosistemas de manglar y también crear un efecto duradero que permee a sus familias y comunidades. El uso de materiales didácticos interactivos es un progreso en la educación ambiental y puede ser un ejemplo para otras iniciativas de conservación en el país (Figura 5). Aunque todavía está en desarrollo, las primeras experiencias en el aula son esperanzadoras: los recursos visuales, táctiles y relacionados con el contexto atraparon la atención de los estudiantes y ayudaron a que construyeran un conocimiento significativo.

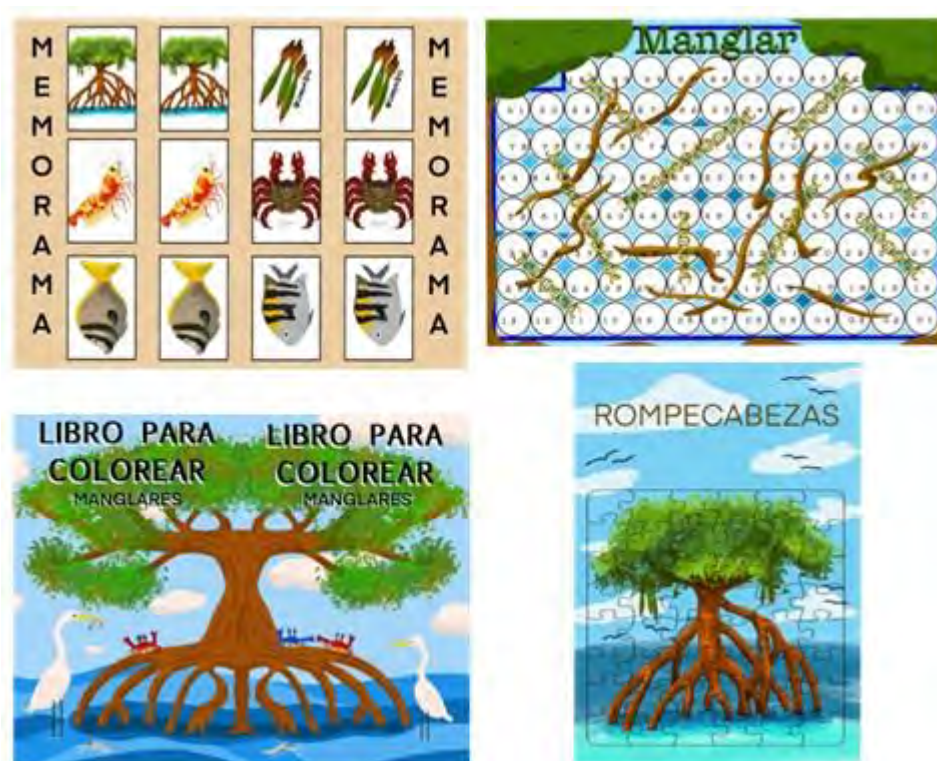


Figura 5. Materiales complementarios al prototipo principal, que incluyen recursos visuales y manipulables diseñados para reforzar los contenidos sobre manglares y adaptarse a distintos estilos de aprendizaje infantil.

Este tipo de programas y actividades promovidos por el PACE son realmente importantes. No se puede dejar solo a las escuelas, a los programas de divulgación por iniciativas personales o de la sociedad civil la tarea de llevar el conocimiento científico a la sociedad. Los que creamos conocimiento sobre los ecosistemas, como los manglares, debemos tener un papel activo en su comunicación. Si entendemos los riesgos que enfrentan estos ecosistemas y los procesos que los mantienen, también debemos colaborar a que esa comprensión se convierta en conciencia colectiva. La ciencia que no se comparte, especialmente con las personas que vivirán en el futuro, pierde parte de su significado.

Considerando el programa que estamos aplicando nuestro próximo paso es crear un diseño experimental que ayude a medir el impacto inmediato de las actividades de divulgación, con el fin de generar indicadores educativos y de impacto para poder medir la efectividad de la transferencia social del conocimiento. Para esto, se formarán dos grupos: uno experimental, que trabajará con el prototipo final, y otro de control, que continuará con actividades educativas normales. Ambos grupos se compararán en las mismas condiciones, usando herramientas de evaluación antes y después de la intervención, como encuestas, actividades diagnósticas y rúbricas de desempeño.

Este enfoque intenta medir los cambios en el conocimiento, la comprensión y la actitud hacia la conservación de los manglares.

La metodología se basa en experiencias pasadas, como la aplicada por Reyes-Rebollo (2016), que utilizó un diseño experimental para evaluar materiales de educación ambiental. Con fines de demostrar la pertinencia de las actividades de divulgación es importante obtener evidencia clara del impacto real del desempeño de los estudiantes antes y después de las intervenciones.

Para mejorar y aumentar estos logros, se efectuarán las siguientes acciones:

1. Evaluación de impacto a mediano plazo en los niños y niñas. Aplicar encuestas de seguimiento y grupos focales para medir la evolución del conocimiento, actitudes y prácticas ambientales tras el uso del prototipo.
2. Formación docente continua. Realizar talleres donde los maestros aprendan a usar y personalizar los recursos, compartan buenas prácticas y participen como coautores de futuras versiones.
3. Colaboración institucional. Tratar de integrar este proyecto al currículo local y establecer alianzas con autoridades educativas, organizaciones ambientales y otras escuelas costeras para asegurar su sostenibilidad y replicabilidad.

Agradecimientos

Al personal del Programa de Acercamiento a la Ciencia del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC, por el apoyo brindado en la implementación de las primeras etapas del proyecto y a las instituciones educativas que han abierto sus puertas para la divulgación de la importancia de los manglares. También a los docentes y estudiantes que han participado en la evaluación de los materiales didácticos y han contribuido a mejorar esta iniciativa.



Referencias bibliográficas

- Alongi, D. M. 2002. *Present state and future of the world's mangrove forests*. Environmental Conservation 29 (3): 331-349.
- Ballantyne, R., S. Connell y J. Fien. 2006. *Students as catalysts of environmental change: a framework for researching intergenerational influence through environmental education*. Environmental Education Research 12 (3-4): 413-427.
- Ballantyne, R., y J. Packer. 2005. *Promoting environmentally sustainable attitudes and behaviour through free-choice learning experiences: what is the state of the game?* Environmental Education Research 11 (3): 281-295.
- Barrable, A. y D. Booth. 2020. *Increasing Nature Connection in Children: A Mini Review of Interventions*. Frontiers in Psychology 11: 492.
- Bonney, R., C. B. Cooper, J. Dickinson, S. Kelling, T. Phillips, K. V. Rosenberg y J. Shirk. 2009. *Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy*. BioScience 59: 977-984.
- Donato, D. C., J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham y M. Kanninen. 2011. *Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics*. Nature Geoscience 4: 293-297.
- Flores-Mejía, J. G., B. Velázquez-Gatica y M. G. Bernal-Vargas. 2024. *Divulgación científica en educación primaria: aplicación e innovación más allá del aula*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 21 (3): 3207.
- Ghilardi-Lopes, N., D. de Souza-Pimentel, L. Kremer, R. de Almeida y C. Pinto-Meireles. 2019. *Didactic materials as resources for the promotion of coastal and marine Environmental Education*. pp. 119-133. En: Ghilardi-Lopes, N. y F. Berchez (eds.). Coastal and Marine Environmental Education. Springer. Cham, Suiza. 139 págs.
- Guerrero-Haro, E. S., M. L. Álvarez-Gutiérrez y J. M. Barros-Vera. 2021. *Impacto del material didáctico en el rendimiento escolar de los estudiantes de educación general básica*. Magazine de las Ciencias Revista de Investigación e Innovación, 5 (CISE 2020): 75-86.
- García, S. A. 2022. *Educación ambiental para la sustentabilidad, una apuesta desde la pedagogía crítica y sentipensante*. Revista CoPaLa, 7(14):68-77.

- Lee, S. Y., J. H. Primavera, F. Dahdouh-Guebas, K. McKee, J. O. Bosire, S. Cannicci, K. Diele, F. Fromard, N. Koedam, C. Marchand, I. Mendelssohn, N. Mukherjee y S. Record. 2014. *Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: A reassessment*. Global Ecology and Biogeography 23 (7): 726–743.
- Li, F., Branoff, B. L., & Martinuzzi, S. 2023. *Contamination in mangrove ecosystems: A synthesis of literature reviews across multiple contaminant categories*. Science of the Total Environment, 884, 163965
- Lewis, H. R., Lipscomb, S. T., Hatfield, B. E., Weber, R., Green, B., & Patterson, L. (2023). *Family–Teacher relationships and child engagement in early care and education*. Societies, 13(3), 67. <https://doi.org/10.3390/soc13030067>
- López-Helguero, M., y J. Aguirre Coello. 2025. *Educación ambiental en estudiantes de nivel primaria: una revisión sistemática*. Revista InveCom 6(1): 1-8.
- Nagelkerken, I., S. J. M. Blaber, S. Bouillon, P. Green, M. Haywood, L. G. Kirton, J.-O. Meynecke, J. Pawlik, H. M. Penrose, A. Sasekumar y P. J. Somerfield. 2008. *The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review*. Aquatic Botany 89 (2008): 155–185.
- Ortega-Quevedo, V. y C. Gil-Puente. 2019. *La naturaleza de la ciencia y la tecnología. Una experiencia para desarrollar el pensamiento crítico*. Revista Científica 35 (2): 167-182.
- Reyes-Rebollo, L. A. 2016. *Evaluación de un material educativo de educación ambiental*. Tesis doctoral, Universidad de Huelva. Huelva, España. 684 págs.
- Roa-Rocha, J. C. 2021. *Importancia del aprendizaje significativo en la construcción de conocimientos*. Revista Científica Estelí, 63–75.
- Santana Castro, E. K. 2026. *Impacto de los programas de formación continua en el trabajo colaborativo docente: una revisión sistemática*. Revista InveCom, 6(1). 1-10.
- Toledo, V. M., y N. Barrera-Bassols. 2008. *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria Editorial. Barcelona, España. 230 págs.
- UNESCO. 2020. *Educación para el Desarrollo Sostenible: Hoja de ruta*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. París, Francia. 67 págs.



- NESCO. 2025. *En Tumbes (Perú), profesores promueven la Educación para el Desarrollo Sostenible para proteger y conservar los ecosistemas de manglar*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Página electrónica HTML, consultada el 2025-05-15: <https://www.unesco.org/es/articles/en-tumbes-peru-profesores-promueven-la-educacion-para-el-desarrollo-sostenible-para-proteger-y>
- Valiela, I., J. L. Bowen y J. K. York. 2001. *Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments*. BioScience 51 (10): 807-815.
- Yazidi, R. E., y K. Rijal. 2024. *Science Learning in the Context of 'Indigenous Knowledge' for Sustainable Development*. International Journal of Ethnoscience and Technology in Education 1 (1): 28-41.
- Zubieta-López, P. 2017. *Las ferias de ciencias como herramientas de educación no formal para la equidad*. 117-129 pp. En: Hidalgo-Rivas, R. F. y M. L. Patiño-Barba (coordinadores). Aprender ciencia en espacios experimentales. Aportaciones desde la educación no formal y la divulgación de la ciencia y la tecnología. Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica, A.C. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ciudad de México, México. 130 pags.

Cita

De la Cruz-Lopez, B.Y., P. Magallón-Servín, N.E. Wence-Partida y J.J. Bautista-Romero. Conociendo nuestras raíces: Educación ambiental para la protección de los manglares. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 210-227.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0013>

Sometido: 30 de mayo de 2025

Aceptado: 29 de agosto de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Crisis of the vaquita and the totoaba in the Upper Gulf of California

Crisis de la vaquita y la totoaba en el Alto Golfo de California

Marcelo V. Curiel-Bernal¹, Miguel Á. Cisneros-Mata^{1*}, y E. Alberto Aragón-Noriega²

Resumen

En el alto golfo de California, México, la vaquita marina y el pez totoaba enfrentan problemas debido a la falta de gobernanza. La pesca con redes de enmalle y la captura ilegal de totoaba, impulsada por el mercado negro de su vejiga natatoria, han reducido la población de vaquitas a solo 13 ejemplares en 2018. Durante cinco décadas, este sistema socio-ecológico ha enfrentado conflictos entre conservación y pesca. A pesar de inversiones millonarias en compensaciones económicas, vigilancia, y programas de artes de pesca alternativas, las medidas han fallado por falta de alternativas económicas viables. Propuestas para una solución sostenible incluyen diálogo permanente con pescadores, actividades productivas como acuacultura, cooperación internacional y fortalecer la participación comunitaria. Destaca por su relevancia fortalecer la colaboración entre México, EE. UU. y China para dismantelar las redes de tráfico de totoaba.

Palabras clave: Sistemas socio-ecológicos; pesca ilegal; conservación; conflictos y soluciones; golfo de California.

¹ Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentables. Calle 20 No. 605-Sur. Guaymas, Son. 85400

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Estero de Bacoichampo, Km. 2.35 Camino al Tular. Guaymas, Son. 85400

*Autor de correspondencia: macisne@cibnor.mx



Abstract

In the upper Gulf of California, Mexico, the vaquita porpoise and the totoaba fish species face challenges due to a lack of governance. Gillnet fishing and the illegal capture of totoaba, driven by the black market for their swim bladder, have reduced the vaquita population to just 13 individuals in 2018. For five decades, this socio-ecological system has faced conflicts between conservation and fishing. Despite multimillion-dollar investments in economic compensation, surveillance, and alternative fishing gear programs, these measures have failed due to a lack of viable economic alternatives. Proposals for a sustainable solution include ongoing dialogue with fishers, productive activities such as aquaculture, international cooperation, and strengthening community participation. It is noteworthy for its relevance to strengthen collaboration between Mexico, the US and China to dismantle totoaba trafficking networks.

Key words: Socio-ecological systems; illegal fishing; conservation; conflicts and solutions; Gulf of California.

Introducción

¿Qué es un SSE? Un sistema socio-ecológico es un conjunto interconectado de elementos humanos y naturales que interactúan de manera compleja y dinámica, formando un sistema adaptativo. Incluye ecosistemas, sus recursos (como especies, agua o suelo) y las comunidades humanas que dependen de ellos, junto con las instituciones, prácticas culturales y económicas que regulan su uso. Estos sistemas son diversos, se autoorganizan, tienen propiedades emergentes¹ y operan en diferentes escalas espaciales y temporales. En un SSE, las personas forman parte del ecosistema, moldeándolo y dependiendo de su funcionamiento para su bienestar y desarrollo social, lo que requiere una gestión sostenible para mantener los bienes y servicios que proporciona (Petrosillo *et al.*, 2015).

En el Alto Golfo de California (AGC), México (porción más norteña del AGC, desde San Felipe, BC hasta El Golfo de Santa Clara, Son.), se encuentra un ecosistema único donde dos especies endémicas, la vaquita marina (*Phocoena sinus*, el mamífero marino más pequeño del mundo) y la totoaba (*Totoaba macdonaldi*, un pez de gran tamaño), cohabitan. La vaquita está al borde de la

¹ Propiedad emergente: Significa que el todo es más que la suma de sus partes.

extinción (Vidal *et al.*, 2024), mientras que la totoaba es considerada especie vulnerable (Cisneros-Mata *et al.*, 2021). Durante cinco décadas, el sistema socio-ecológico (SSE) que involucra a estas especies, las comunidades pesqueras y las autoridades, se ha complicado por conflictos entre conservación y pesca (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025). Factores como la pesca ilegal de la totoaba, la falta de gobernanza² efectiva y la influencia del crimen organizado han agravado la crisis, sin que las acciones implementadas logren salvar a estas especies (Aceves-Bueno *et al.*, 2020).

Antecedentes

¿Qué pasa en el Alto Golfo? El AGC es hogar de unas 78,000 personas en comunidades como San Felipe (Baja California) y El Golfo de Santa Clara (Sonora), donde la pesca es la principal actividad económica. La vaquita y la totoaba comparten el mismo hábitat y dieta, pero la pesca con redes de enmalle (prohibidas por su impacto en la vaquita) y la captura ilegal de la totoaba (de febrero a mayo) ha afectado a especies (Cisneros-Mata *et al.*, 2021). La totoaba es capturada a bordo de embarcaciones menores con redes de enmalle de hasta 1 km de longitud; este arte de pesca es poco selectivo. La vaquita, en particular, está en peligro inminente de extinción, con solo 13 ejemplares avistados en 2018 (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 2019). No existen estimaciones del número de vaquitas existentes en 2025. Desde los años 70s, la pesca comercial de la totoaba colapsó, dando paso a la pesca de camarón. Sin embargo, la recuperación de la totoaba en años recientes en parte debido a una mejor vigilancia y a esfuerzos de repoblación de juveniles (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025) ha incentivado su pesca ilegal, alimentada por el alto valor de su vejiga natatoria en el mercado negro (5,000 a 8,500 dólares americanos por kilo), especialmente en China donde se utiliza mayormente para consumo humano (Vidal *et al.*, 2024). Esto, combinado con la captura incidental de vaquitas en redes, ha generado tensiones entre pescadores, autoridades, organizaciones no gubernamentales (ONGs) y organismos internacionales. Estas tensiones se deben a comunicación ineficaz en general, a los intereses de los pescadores que se rehúsan a cambiar sus artes de pesca de camarón por artes selectivos, y a diferencias de visión entre las autoridades de pesca comparadas con las autoridades de conservación (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025).

La evolución del conflicto. Hay cinco etapas clave en los últimos 50 años que resumen la evolución del sistema (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025): **1975-1990:** se reconoce la disminución de la vaquita y se inician esfuerzos de conservación, enfocados en diversificar las actividades económicas de los

² Gobernanza: proceso mediante el cual las instituciones o comunidades dirigen sus asuntos, gestionan recursos comunes y garantizan la realización de sus derechos.



pescadores. En el caso de la totoaba, esta es vedada en 1975 y por ello no existen registros oficiales de captura. **1990-2000:** se crea la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado para proteger a ambas especies, pero las comunidades locales no aceptan del todo las restricciones pesqueras. Se conforma el CIRVA (Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita) con el fin de coordinar acciones de gobierno, académicos y ONGs en favor de la protección de la vaquita marina. **2000-2005:** se ofrecen compensaciones económicas a pescadores por reducir el esfuerzo pesquero, pero solo una minoría las acepta. La vaquita es incluida en la lista de Patrimonio Mundial. **2006-2009:** aumenta el incumplimiento de regulaciones pesqueras. Se intenta un diálogo estructurado (Alto Golfo Sustentable), pero no logra consensos. **2010-2024:** la pesca ilegal de la totoaba se intensifica, y el crimen organizado entra en escena. Se implementan medidas como prohibiciones de redes, vigilancia con la Marina y la Sea Shepherd (ONG internacional), y embargos comerciales de EE. UU., pero la resistencia local y la falta de recursos frenan el progreso.

¿Por qué no se ha resuelto? Hay varias razones por las que el conflicto persiste: 1) La mayoría de los pescadores dependen totalmente de la pesca y no ven opciones viables fuera de ella. 2) Las autoridades no han logrado hacer cumplir las regulaciones pesqueras, y la corrupción ha minado los esfuerzos de conservación (Gatto, 2022). 3) La pesca ilegal de la totoaba, impulsada por el narcotráfico, ofrece ganancias altas que tientan a las comunidades (Vidal *et al.*, 2024). 4) Los pescadores ven las medidas de conservación como imposiciones externas que no consideran sus necesidades. 5) No se ha logrado que las comunidades valoren la importancia de conservar la vaquita y la totoaba.

Acciones que no funcionaron. A lo largo de los años, se han invertido millones de dólares en programas de compensación (unos 74.8 millones de USD entre 2002 y 2017), pero no han dado resultados duraderos (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025). Por ejemplo:

- Las compensaciones económicas no llegaron a todos los pescadores, y muchos las rechazaron por insuficientes.
- Los intentos de introducir artes de pesca alternativas (como el sistema de arrastre RS-INP) fracasaron por falta de aceptación local. El sistema RS-INP es una red de arrastre diseñada para la captura de camarón en embarcaciones menores que sustituye a las redes de enmalle o agalleras para evitar la captura incidental de vaquita marina.
- La vigilancia de la Secretaría de Marina y de la organización Sea Shepherd generó violencia y rechazo, en lugar de cooperación.

- Organismos como el CIRVA que había sido creado en la mitad de la década de los 90s se debilitaron por falta de apoyo gubernamental.
- En 2018, el hábitat de la vaquita fue declarado Patrimonio Mundial en Peligro, y en 2023, CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) amenazó con sanciones al comercio de fauna mexicana si no se controla la pesca ilegal de la totoaba (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025).
- Recientemente (septiembre de 2025) el gobierno de EE. UU. ha amenazado con embargar la importación de 21 recursos pesqueros provenientes del Alto Golfo de California a partir de enero de 2026, esto debido a que no se ha logrado controlar la pesca ilegal de totoaba³.

Discusión académica

¿Qué sigue? Sin cambios drásticos, la vaquita podría extinguirse pronto, y la pesca ilegal de la totoaba seguirá afectando al ecosistema (Vidal *et al.*, 2024). La llegada de inmigrantes a la región podría complicar aún más la situación, al aumentar la presión sobre los recursos pesqueros. Sin embargo, también podría ser una oportunidad para infiltrar redes de tráfico ilegal y mejorar la vigilancia (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025). El Plan de Acción de México para la vaquita, aprobado por la CITES en 2023, repite estrategias ya intentadas sin éxito, como rastreo satelital de embarcaciones y capacitación en artes de pesca alternativas. Además, recientes negociaciones entre pescadores y el gobierno mexicano consideran permitir el uso de las redes de enmalle, lo que va en contra de décadas de esfuerzos de conservación (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2025).

Consideraciones finales y perspectivas

Algunas ideas para avanzar hacia una solución sostenible que incluyen: 1) Crear una plataforma permanente de diálogo donde los pescadores sean escuchados y participen en el diseño de políticas. Esto puede reducir la resistencia y fomentar la confianza. 2) Los gobiernos federal y estatal (Sonora y Baja California) deben coordinarse para hacer cumplir las regulaciones pesqueras y combatir la corrupción (Gatto, 2022). 3) Desarrollar actividades productivas sostenibles (como acuicultura o turismo ecológico) que sean atractivas para los pescadores y reduzcan su

³ <https://www.tiempo.com.mx/nacional/impone-eu-embargo-comercial-21-pesqueras-mexico-septiembre-2025/>



dependencia de la pesca ilegal. 4) Incluir a las comunidades en programas de monitoreo de la vaquita y la totoaba, y promover campañas que creen orgullo local por estas especies. 5) Fortalecer la colaboración entre México, EE. UU. y China para dismantelar las redes de tráfico de totoaba, usando inteligencia encubierta para identificar a los actores clave (Vidal *et al.*, 2024). 6) Consensuar con los pescadores el uso de equipos que no dañen a la vaquita, asegurando que sean prácticos y rentables. 7) Apoyar a las cooperativas para que defiendan el acceso legal a la pesca y participen en la resolución de conflictos. 8) Reemplazar o fortalecer al CIRVA con la inclusión de expertos en cuestiones sociales, que actualice y complemente los datos sobre la vaquita y proponga ajustes al diseño de su refugio.

Literatura citada

- Aceves-Bueno, E., A. J. Read, y M. Á. Cisneros-Mata. 2020. *Illegal Fisheries, Environmental Crime, and the Conservation of Marine Resources*. *Conservation Biology* 35: 1120-29. <https://doi.org/10.1111/cobi.13674>.
- Cisneros-Mata, M. A., J. Delgado, y D. Rodríguez-Félix. 2021. *Viability of the Vaquita, Phocoena sinus (Cetacea: Phocoenidae) Population, Threatened by Poaching of Totoaba macdonaldi (Perciformes: Sciaenidae)*. *Revista de Biología Tropical* 69(2): 588-600. <https://doi.org/10.15517/RBT.V69I2.45475>.
- Cisneros-Mata, M. Á., C. True, L. M. Enríquez-Paredes, Y. Sadovy, y M. Liu. 2021. *Totoaba macdonaldi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T22003A2780880. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-2.RLTS.T22003A2780880.en>
- Gatto, A. 2022. *Polycentric and Resilient Perspectives for Governing the Commons: Strategic and Law and Economics Insights for Sustainable Development*. *Ambio* 51: 1921-32. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01719-x>.
- Jaramillo-Legorreta, A. M., G. Cárdenas-Hinojosa, E. Nieto-García, L. Rojas-Bracho, L. Thomas, J. M. Ver-Hoef, J. Moore, B. Taylor, J. Barlow, y N. Tregenza. 2019. *Decline towards Extinction of Mexico's Vaquita Porpoise (Phocoena sinus)*. *Royal Society Open Science* 6: 190598. <https://doi.org/10.1098/rsos.190598>.

- Petrosillo, I., R. Aretano, y G. Zurlini. 2015. *Socioecological Systems*. pp 1-7. En: Elias, S. A. (Ed.). Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier Inc. Lecce, Italia. 156 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09129-3>.
- Rodríguez-Valencia, J. A., L. Fueyo-Mac Donald, y M. Á. Cisneros-Mata. 2025. *Evolution of the Vaquita/Totoaba Socio-Ecological System in the Upper Gulf of California, Mexico*. *Ecosphere* 16(2): e70170. <https://doi.org/10.1002/ecs2.70170>.
- Vidal, O., R. L. Brownell, L. T. Findley, J. Torre, y R. C. Brusca. 2024. *Vaquita Phocoena sinus Norris and McFarland, 1958*. pp. 487-518. En: Jefferson, T. A. Ridgway & Harrison's Handbook of Marine Mammals. Coastal Dolphins and Porpoises, Vol. 1. Academic Press. Lakeside, CA. 649 pp.

Cita

Curiel-Bernal, M.V., M.A. Cisneros-Mata y E. A. Aragón-Noriega. Crisis de la vaquita y la totoaba en el Alto Golfo de California. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2025. Vol. 11 (2): 229-235. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0014>

Sometido: 4 de junio de 2025

Aceptado: 23 de septiembre de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón Bazzino Ferreri

Editor ejecutivo: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrasco

What happens to fish and shellfish when we cook them?

¿Qué les pasa a los pescados y mariscos cuando los cocinamos?

Patricia Hernández Cortés¹ y Crisalejandra Rivera Pérez^{1*}

Resumen

Los peces y mariscos se consideran entre los alimentos más nutritivos, destacándose por su versatilidad en la cocina que los hace protagonistas de múltiples tradiciones culinarias. Freír, cocer al vapor, hervir, asar, hornear o preparar ceviche son solo algunas de las técnicas utilizadas. Cada técnica de cocción provoca cambios estructurales importantes, principalmente por la desnaturalización y coagulación de las proteínas. Estos procesos influyen en la textura, el color y el sabor de los alimentos. No todos los métodos son igual de saludables: las altas temperaturas y los tiempos prolongados pueden provocar la pérdida de nutrientes e incluso la formación de compuestos potencialmente tóxicos, como los carcinogénicos. Además, los métodos como la fritura elevan considerablemente el contenido calórico del platillo. En contraste, opciones como el horneado, la cocción en agua o al vapor son más recomendables para preservar el valor nutricional. Este artículo revisa los principales efectos de la cocción en pescados y mariscos, ofreciendo recomendaciones para optimizar su preparación desde una perspectiva gastronómica como de salud pública.

Palabras clave: pescado, mariscos, cocción, proteínas.

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: crivera@cibnor.mx



Abstract

Fish and shellfish are among the most nutritious foods, standing out for their versatility in the kitchen, making them central to many culinary traditions. Some standard techniques include frying, drying, steaming, boiling, grilling, baking, or preparing ceviche. Each cooking method causes significant structural changes, mainly due to the denaturation and coagulation of proteins. These processes influence the texture, color, and flavor of the food. Not all cooking methods are equally healthy: high temperatures and prolonged cooking times can lead to nutrient loss and even the formation of potentially toxic compounds, such as carcinogens. Additionally, methods like frying significantly increase the caloric content of the dish. In contrast, baking, boiling, or steaming are more advisable options to preserve nutritional value. This article reviews the main effects of cooking on fish and seafood, offering recommendations to optimize their preparation from both a culinary and public health perspective.

Keywords: fish, shellfish, cooking, proteins.

1. Introducción

En 2022, la producción mundial de animales acuáticos alcanzó un máximo histórico de 185 millones de toneladas en peso vivo, lo que representó un incremento del 4% respecto a 2020. De ese total, aproximadamente 164.6 millones de toneladas (89%) se destinaron al consumo humano, con un promedio estimado de 20.7 kg per cápita. El análisis de los datos globales de pesca y acuicultura por Zona de Pesca Principal de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO; por sus siglas en inglés Food and Agriculture Organization) reveló que la mayor proporción de la producción se originó en el océano Pacífico (41%), en contraste con solo el 13% en el Atlántico (FAO, 2024).

En 2024, la producción pesquera y acuícola en México reportada fue de 2.2 millones de toneladas en peso vivo, lo que representó una diferencia positiva de 44,292 toneladas respecto a 2023, equivalente a un incremento del 2%. Las especies con mayor volumen a nivel nacional fueron: sardina, con 684,578 toneladas (31% de la producción nacional); anchoveta, con 308,632 toneladas (14%); camarón, con 258,577 toneladas (12%); y túnidos, con 194,875 toneladas (9%). En cuanto a las entidades federativas, las de mayor volumen en 2024 fueron: Sonora, con 776,180 toneladas

(35% de la producción nacional); Sinaloa, con 468,319 toneladas (21%); Baja California, con 353,035 toneladas (16%); Baja California Sur, con 204,271 toneladas (9%); y Veracruz, con 60,612 toneladas (3%) (CONAPESCA, 2024).

En México, el consumo aparente total de productos pesqueros durante el año 2024 se estimó en 1.9 millones de toneladas, lo que representa la cantidad de pescado y mariscos disponibles para el consumo interno. En términos per cápita, es decir, el consumo promedio por persona a nivel nacional, este se calculó en 15.11 kilogramos por habitante (CONAPESCA, 2024). Siendo las especies de escama (2.36 kg), sardina y macarela (2.05 kg), túnidos (1.35 kg), mojarra (1.59 kg) y camarón (1.97), los principales (CONAPESCA, 2024).

Los pescados marinos representan una de las fuentes más valiosas de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, minerales y vitaminas. Una porción promedio de 100 g puede aportar más del 50% de la ingesta diaria recomendada de proteínas, entre un 10% y un 20% de minerales, cantidades variables de vitaminas hidrosolubles y un porcentaje significativo de vitaminas liposolubles como A, D y E (Perea *et al.*, 2008). En cuanto a los ácidos grasos, los pescados destacan por su contenido de ácidos grasos omega-3, los cuales contribuyen a la prevención de enfermedades cardiovasculares, disminuyen el riesgo de ciertos tipos de cáncer y ayudan a controlar afecciones como la hipertensión y la arteriosclerosis (Tacon y Metian, 2013).

A pesar de que México es uno de los mayores productores de pescados y mariscos su consumo es limitado. Diversos factores explican el bajo consumo de pescados y mariscos en México. Por un lado, las comunidades pesqueras han visto debilitado su autoabasto a pesar de contar con más de 15 mil kilómetros de litoral y extensas aguas interiores. A esto se suma que los bajos salarios limitan la compra de estos productos: de la tercera parte del ingreso destinada a la alimentación, apenas el 8 % se dirige a ellos, en parte por la poca variedad de especies con demanda comercial, lo que encarece su precio. También influye la escasa cultura de consumo, sobre todo en el interior del país, donde su ingesta suele concentrarse en fechas religiosas y solo el 24% de los hogares los incluye en su canasta básica. Otro problema es la falta de canales de distribución diversificados, ya que casi el 80% de la comercialización está en manos de grandes supermercados. Además, una porción importante de las capturas y cultivos acuícolas se destina a la elaboración de alimentos para animales y, persiste cierta desconfianza de los consumidores sobre la calidad de estos productos (Flores y Crespo, 2023). A lo anterior se suma que muchos consumidores desconocen las diversas formas de preparar pescados y mariscos, así como los beneficios que aportan a la salud.



Los métodos de cocinado afectan directamente las propiedades organolépticas y sensoriales del pescado. El término organoléptico se refiere a las características perceptibles a través de los sentidos, como el color, olor, sabor, textura o incluso el sonido al masticar. En cambio, las propiedades sensoriales corresponden a la evaluación sistemática y científica de estas percepciones mediante técnicas de análisis sensorial (Espinosa, 2020). La textura es una de las propiedades más notorias que se modifican durante la cocción. De manera técnica, este término incluye atributos como dureza, cohesividad, elasticidad, viscosidad, adherencia y fracturabilidad (Szczesniak, 1986). No obstante, para el consumidor estos cambios suelen percibirse de forma más sencilla: el pescado puede volverse más suave o blanco, crujiente, duro, pegajoso, granuloso o incluso resbaladizo, dependiendo del método de preparación.

Existen diversas estrategias para cocinar el pescado, las cuales han sido ampliamente estudiadas en distintas especies. Los métodos más tradicionales incluyen el horneado, cocido en agua, cocción en microondas y fritura (Karimian-Khosroshahi *et al.*, 2016). Estos métodos no solo afectan la composición nutricional (Karimian-Khosroshahi *et al.*, 2016; Weber *et al.*, 2008), sino también la textura y el sabor. La textura puede variar por numerosos factores (Nollet y Toldrá, 2009), desde la temperatura de almacenamiento durante la manipulación (Lin *et al.*, 2022), hasta condiciones biológicas como especie, edad, tamaño, dieta, heterogeneidad de la muestra y disposición de las fibras musculares. Asimismo, se ve influida por factores químicos como el contenido y distribución de agua, grasa y colágeno, así como por tratamientos de almacenamiento, congelación, refrigeración, salado, encurtido y fermentación (Cheng *et al.*, 2014). Estos cambios en la textura también influyen en el sabor, el cual está asociado con reacciones como la de Maillard, una interacción entre azúcares reductores y proteínas que ocurre principalmente al someter los alimentos al calor, además de la degradación de lípidos y de ciertas vitaminas. Estos mecanismos liberan compuestos volátiles que modifican de manera significativa el perfil sensorial de los alimentos (Chen *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2020).

Por lo tanto, esta revisión tiene como propósito divulgar los principales cambios que ocurren en pescados y mariscos durante la cocción, con un mayor énfasis en los pescados por ser el producto más consumido a nivel nacional. Se destacan las técnicas culinarias más tradicionales que suelen aplicarse en el hogar (Figura 1), sin dejar de reconocer que hoy en día, debido a la evolución tecnológica y a un tren de vida distinto, donde en muchas familias ambos padres trabajan y disponen de poco tiempo para cocinar, se han incorporado métodos más rápidos, como el uso del microondas y la freidora de aire. Aunque los métodos aquí abordados no representan la totalidad de los que actualmente se emplean, sí corresponden a los más comunes y tradicionales, con el fin de que el

consumidor pueda elegir el método más adecuado para su consumo, facilitando su manejo en el hogar y promoviendo una ingesta más informada y efectiva.



Figura 1. Métodos de cocción de pescados y mariscos más comunes.

2. Principales pescados y mariscos consumidos en México.

México es uno de los principales productores de pescados y mariscos a nivel mundial gracias a la extensión de sus litorales en el océano Pacífico y el Golfo de México, además de sus sistemas de lagos y ríos que sostienen una importante producción acuícola. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2024 (CONAPESCA, 2024), la producción pesquera nacional supera los 2 millones de toneladas anuales, siendo especies como el atún, el camarón, la mojarra/tilapia y la sierra algunas de las de mayor volumen. Sin embargo, el consumo de productos



pesqueros en el país está marcado por un fuerte carácter regional. Mientras en la península de Yucatán predomina la tradición de guisos con cazón (Ayora, 2014), en el Pacífico destacan preparaciones como el ceviche, el aguachile o el pescado zarandeado, y en el centro-sur de México son comunes los caldos, empapelados y frituras con especies de agua dulce como el bagre, la mojarra o la trucha (Tabla 1).

Los hábitos de consumo también reflejan la diversidad cultural y biológica de México. Los pescados de agua dulce, como el bagre, la mojarra, la tilapia y la trucha, se preparan tradicionalmente fritos, en caldos, empapelados o a la mantequilla, recetas vinculadas a regiones ribereñas y montañosas. En contraste, las especies marinas, entre ellas el jurel, dorado, sierra, huachinango, róbalo y atún, suelen consumirse en ceviches, zarandeados, a la veracruzana o en tacos de pescado. Algunas especies importadas, como el salmón y el basa, se han incorporado a la dieta urbana con preparaciones al horno, a la plancha o en sushi, lo que muestra la influencia de la globalización alimentaria.

En el caso de los mariscos, destacan el camarón, la jaiba, las almejas y los pulpos, todos con un alto valor cultural y gastronómico. El camarón es uno de los productos más versátiles y apreciados, con preparaciones que van desde ceviches y aguachiles hasta platillos fritos o a la diablo. La jaiba se consume tradicionalmente en jaibas rellenas o en caldos; mientras que las almejas y callos forman parte de ceviches y asados típicos de Baja California Sur. Por su parte, el pulpo y el calamar son populares en ceviches, tostadas y guisos asados, con presencia destacada en la cocina de Yucatán y el Golfo.

Tabla 1. Platillos tradicionales de la gastronomía mexicana a base de pescados y mariscos.

Producto*	Consumo tradicional	Referencia
Peces de agua dulce		
Bagre	En caldo, tamales de bagre, en adobo, frito	Pérez Morales et al., 2018
Mojarra	Frito, al mojo de ajo, empapelado.	Ranero, 2015
Tilapia	Frita entera, en caldo, empapelada, en tacos	CONAPESCA, 2015
Trucha	A la mantequilla, al ajillo, empapelada, ahumada	Secretaría de Turismo del Estado de México, 2017.
Peces marinos		
Jurel	Ceviche, escabeche, filete frito	SADER, 2020
Dorado	Asado, zarandeado, tacos de pescado	Morales, 2025
Trucha	A la mantequilla, al ajillo, empapelada, ahumada	Secretaría de Turismo del Estado de México, 2017.
Basa	Filete empanizado, en tacos, al horno	SADER, 2021
Sierra	Ceviche, asada en filete, machaca de pescado	Secretaría de turismo de BCS, 2018.
Cazón	Tacos, escabecha, estofado	Ayora, 2014
Huachinango	A la veracruzana, frito entero, al mojo de ajo.	Rodríguez-Luna et al., 2018
Atún	Enlatado, fresco, en filete de pescado sellado, ceviche	SAGARPA, 2017
Verdillo	Estofado	ProNatura, 2023
Mariscos		
Jaiba	Jaibas rellenas, caldo de jaiba, tamales jaiba, cocida	Carrillo et al., 2019
Camarón	Ceviche, aguachile, empanizado, a la diablo, al mojo de ajo, caldo,	SAGARPA, 2016
Almejas, callos	Ceviche, asado	SADER, 2024
Pulpos, calamar	Ceviche, asado, tostadas	SADER, 2020

*Pescados y mariscos más consumidos a nivel nacional ([Cideco, 2021](#))



En conjunto, la diversidad de preparaciones refleja tanto la disponibilidad de especies en cada región como la riqueza cultural que define la cocina mexicana de pescados y mariscos. Esta riqueza culinaria no solo responde a preferencias gastronómicas, sino también a una adaptación histórica a los recursos locales y a la incorporación de nuevas especies por la acuicultura y el comercio internacional.

2. Métodos de cocción de pescados y mariscos

2.1. Frito

Freír pescado o mariscos es una de las técnicas más comunes en la cocina mexicana y una de las preferidas por su sabor, aroma y textura. Desde los tradicionales filetes de sierra, pargo o róbalo, hasta los populares tacos de cochito, el freído transforma las propiedades del alimento y realza su atractivo sensorial.

El proceso de freído puede dividirse en cuatro etapas (Figura 2) (NurSyahirah y Rozzamri, 2022). En la primera, el alimento se sumerge en aceite caliente y su superficie alcanza rápidamente el punto de ebullición del agua; el vapor escapa en forma de burbujas, secando la superficie y formando una costra crujiente que impide la entrada del aceite. Durante la segunda etapa, el burbujeado aumenta por el contacto entre el aire y el aceite; en la tercera, la costra se engrosa y los almidones comienzan a gelificarse, mientras que en la cuarta etapa el agua del alimento termina de evaporarse.

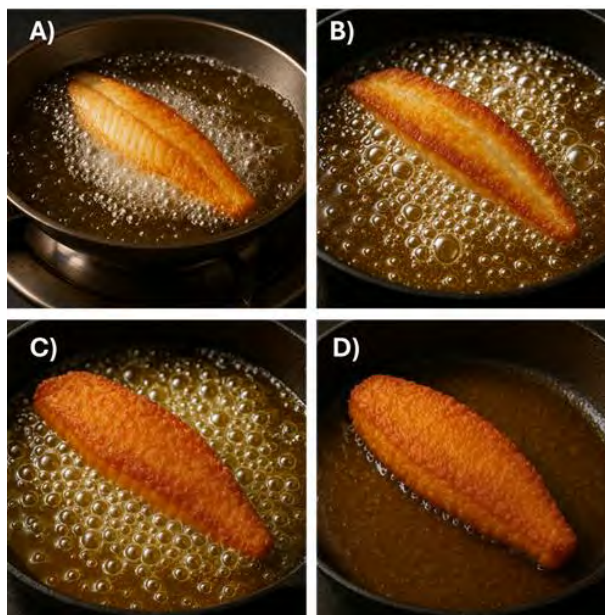


Figura 2. Etapas del proceso de freído. Elaboración propia a través de IA. A) Etapa de calentamiento, B) Punto de hervor, C) Tasa de caída y D) Completa evaporación del agua.

Freír combina varios procesos físicos y químicos a la vez. El calor provoca la desnaturalización de proteínas, la gelatinización del almidón y la llamada reacción de Maillard, responsable del color dorado y del aroma tan apetitoso.

Cuando una proteína se desnaturaliza, pierde su forma natural, como sucede con la clara de huevo o con el filete de pescado que cambia de color y textura al calentarse. Esto mejora la digestión y libera los aminoácidos, componentes esenciales de las proteínas. El almidón, por su parte, es una molécula formada por muchas unidades de glucosa que las plantas utilizan para almacenar energía. Al aplicar calor y con la humedad, los gránulos de almidón se hinchan y liberan amilosa, formando una matriz gelatinosa que ayuda a mantener jugoso el interior del alimento (Ratnayake y Jackson, 2006; Copeland *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009).

La reacción de Maillard, por su parte, ocurre cuando los azúcares naturales de los alimentos reaccionan con los aminoácidos presentes en las proteínas al calentarse (Toros *et al.*, 2023). Es la responsable del pardeamiento no enzimático que da a los alimentos asados, tostados o fritos su característico color dorado y su aroma (Moreno *et al.*, 2003). Esta reacción produce una amplia gama de compuestos, algunos deseables, que aportan sabor y color, y otros menos beneficiosos si se alcanzan temperaturas muy altas, incluyendo furano, HMF (hidroximetilfurfural), productos finales de glicación avanzada y pigmentos pardos conocidos como melanoidinas, además de compuestos volátiles como acrilamida, compuestos heterocíclicos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (Kathuria *et al.*, 2023; Viegas *et al.*, 2012). Estos compuestos pueden tener efectos tanto positivos como negativos: en algunos casos originan cambios deseables en el sabor y el color de muchos alimentos, como productos de panificación, carne, pescados y tostadas; mientras que en otros casos pueden producir cambios indeseables en el sabor y el color de alimentos como frutas, verduras, leche y huevos (Hafsa *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2018).

Una variante del proceso incluye el recubrimiento con un empanizador compuesto por harina, galleta, pan o miga, el cual es muy atractivo para niños. Estas cubiertas aumentan la cantidad de almidón en la superficie del pescado o mariscos, lo que resulta en una mayor gelificación, mientras se conserva jugoso el interior del alimento (Panchakarla *et al.*, 2023). La adición de huevo al empanizador ayuda a inhibir la penetración de aceite y la evaporación de humedad durante el freído, lo que resulta en una menor absorción de grasa (Zeng *et al.*, 2016; Brannan *et al.*, 2014; Adedeji y Ngadi, 2011). Las estrategias de reducción de grasa basadas en ingredientes se han centrado en las proteínas debido a sus propiedades de formación de películas y gelificación térmica (Brannan *et al.*, 2014). Además, la adición de proteínas favorece la emulsificación y las reacciones de Maillard, mejorando atributos de calidad de los alimentos empanizados y fritos, como el color y la textura



crujiente (Salvador *et al.*, 2005; Fiszman y Salvador, 2003). Asimismo, un empanizador con alto contenido proteico proporciona un recubrimiento más nutritivo (Fiszman y Salvador, 2003).

Los pescados y mariscos son ricos en proteínas y grasas saludables, especialmente ácidos grasos poliinsaturados omega-3, que benefician la salud cardiovascular (Suganthi *et al.*, 2015). En México, especies como el atún, la sardina, el jurel o la sierra son buenas fuentes de este tipo de grasas, mientras que el pargo y el róbalo se consideran de contenido medio (Castro-González *et al.*, 2004). El contenido graso puede variar ampliamente dependiendo de la especie, el tamaño, la temperatura del agua o la estación del año (Moradi *et al.*, 2011; Mekonnen *et al.*, 2020). Estas diferencias influyen en cómo el calor afecta su textura y sabor: los pescados más grasos tienden a desarrollar un sabor más intenso al freírse, mientras que los magros quedan más firmes (Biandolino *et al.*, 2021; Bechtel *et al.*, 2018).

Los aceites vegetales se emplean comúnmente para freír debido a sus beneficios nutricionales y estabilidad (Bansal *et al.*, 2010). El aceite de palma o sus fracciones se utilizan con frecuencia, seguido por el aceite de soya y el aceite de canola debido a su estabilidad al calor (Park y Kim, 2016). Los diferentes tipos de aceites de fritura tienen distintos efectos sobre la composición final y la calidad de los productos fritos (Peng *et al.*, 2017).

Las propiedades de los aceites, como la composición de ácidos grasos, la estabilidad oxidativa y el punto de humo, afectan las propiedades de los productos fritos. Algunos ácidos grasos en los alimentos fritos pueden disminuir o aumentar dependiendo de los cambios en los perfiles de ácidos grasos, ya que estos dependen de la composición de los aceites usados (Ekiz y Oz, 2019). Además, durante el freído, el aceite penetra en el producto para reemplazar la pérdida de humedad y, con ello, transfiere sus nutrientes. Estos procesos modifican la composición final del pescado y de los productos pesqueros fritos.

El punto de humo es un criterio para la selección del aceite para freír (Zapata, 2004). Este se refiere a la temperatura mínima en la que el aceite empieza a emitir humo debido a la descomposición de los triglicéridos, donde los glicerol de los triglicéridos se transforman en acroleína, la cual es uno de los principales compuestos volátiles que se producen durante el freído (Shibata *et al.*, 2018). Los aceites con punto de humo igual o superior a 220°C son adecuados para freír, ya que a temperatura óptima para freír se sitúa entre 170 y 180°C durante un tiempo aproximado de tres minutos. Los aceites refinados de girasol y cártamo alcanzan un punto de humo de hasta 265°C, y además poseen un sabor neutro, lo que los hace ideales para cocinar. Calentar el aceite por encima de su punto de humo reduce su valor nutricional y genera compuestos nocivos como peróxidos y aldehídos

(NurSyahirah y Rozzamri, 2022; Shibata *et al.*, 2018). Incluso si utilizan aceites saludables, el freído incrementa el contenido calórico de los alimentos. Freír a temperaturas inferiores permite una mayor absorción de aceite, volviendo el alimento excesivamente grasoso. En cambio, temperaturas demasiado elevadas pueden secar la superficie, mediante la evaporación de agua en la capa externa del alimento provocando deshidratación superficial, generando una costra dura y seca, impidiendo que el calor penetre de manera uniforme hacia el interior del alimento, dejando el centro menos cocido. Además, oxidar el aceite, en donde los ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno, produciendo compuestos volátiles (aldehídos, cetonas y ácidos grasos oxidados) que alteran el perfil sensorial, originando sabores y olores rancios.

2.2. Ceviche

El ceviche es uno de los platillos más representativos de la cocina mexicana y latinoamericana. Se prepara con pescado o mariscos crudos —como cochito, sierra o atún— que se marinan en jugo de limón. Este jugo, rico en ácido cítrico, actúa de una forma similar al calor: “cuece” el pescado sin necesidad de fuego.

El ácido cítrico del limón reduce el pH del alimento, es decir, lo vuelve más ácido, y eso provoca transformaciones visibles y químicas en la carne. Un filete de pescado blanco pasa de translúcido a opaco, y uno de atún cambia de rojo brillante a rosado. Este cambio de color ocurre porque las proteínas del músculo se modifican: pierden su forma original, se agrupan y se vuelven más firmes, en un proceso llamado desnaturalización (Hernández *et al.*, 2024).

En términos simples, desnaturalizar una proteína significa alterar su estructura natural. Es lo que también sucede cuando se cocina un huevo y la clara pasa de líquida a blanca y sólida: el calor, o en este caso la acidez, cambia la forma de las proteínas. En el pescado, estas proteínas se reorganizan y forman una red más compacta, lo que da lugar a la textura firme y color opaco que caracteriza al ceviche.

A la par, ocurre la coagulación: las proteínas que estaban dispersas se agrupan y espesan, creando una consistencia similar a la de un gel (Brenner *et al.*, 2023). Este proceso de desnaturalización y coagulación puede suceder al mismo tiempo o uno después del otro, pero ambos son responsables de la apariencia y textura del pescado “cocido” en limón. En especies como el atún, además, estos cambios afectan a pigmentos como la mioglobina, responsable del color rojizo de su carne; al modificarse u oxidarse, adquieren un tono más claro.



El jugo de limón no solo aporta sabor: también contiene vitamina C, un potente antioxidante que ayuda a reducir la oxidación de los compuestos del pescado (Akuru *et al.*, 2020). Su acidez natural contribuye a limitar el crecimiento de bacterias (Ekawati y Darmanto, 2019), aunque no las elimina por completo (Mathur y Schaffner, 2013). Por ello, es esencial preparar el ceviche con pescado fresco y en condiciones higiénicas adecuadas.

La marinación con ingredientes naturales, como jugo de cítricos o vinagre, es una práctica común que mejora el sabor, prolonga la vida útil del producto y reduce la contaminación microbiana (Rasuli *et al.*, 2021). Así, el ceviche combina ciencia y tradición: una deliciosa forma en la que la química natural del limón transforma la textura, el color y el sabor del pescado, sin necesidad de calor.

2.3. Cocido en agua

El hervido es uno de los métodos de cocción más antiguos y universales. Consiste en cocinar la carne o el pescado en agua caliente y sigue siendo muy popular en regiones como Oriente Medio, China, Japón o Tailandia —por ejemplo, en el hotpot—, así como en México, donde se prepara el tradicional caldo largo (Ismail y Ikram, 2004). Generalmente, los pequeños trozos de carne o pescado se hierven a unos 100 °C durante 25–30 minutos, o más tiempo si son piezas grandes, hasta alcanzar una temperatura interna cercana a los 72 °C.

Los estudios científicos han demostrado que al hervir la carne o el pescado ocurren transformaciones importantes en sus proteínas y aminoácidos: las proteínas cambian de forma (desnaturalización), pueden unirse entre sí (agregación proteica) y se modifican algunas de sus partes químicas, como las cadenas laterales de los aminoácidos. Además, pueden presentarse reacciones de oxidación en moléculas como la fenilalanina y formarse compuestos como la carboxietil-lisina (Yu *et al.*, 2017). Todos estos cambios influyen en la textura, el sabor y la digestibilidad de los alimentos, por lo que el tiempo de cocción es un factor clave.

Por ejemplo, Tavares *et al.* (2018) analizaron cómo el hervido afecta la digestibilidad de las proteínas en filetes de pez sable. Tras cocinarlos cerca de 100 °C y simular la digestión con enzimas, se observó que las proteínas del pescado hervido se digieren mejor que las del pescado crudo, sin importar si la cocción fue de 5, 10 o 15 minutos. Sin embargo, parte de los aminoácidos libres se pierden en el agua de cocción, lo que explica por qué los caldos de res, pollo o camarón son ricos en sabor y compuestos nutritivos (Totani *et al.*, 2006).

Otro estudio, realizado por Zhang *et al.* (2020), evaluó el efecto del calor en las proteínas del ostión del Pacífico (*Crassostrea gigas*). Se encontró que al aumentar la temperatura de 35 a 100 °C, la digestibilidad de las proteínas disminuye. Aunque el calor no afectó directamente los sitios donde las enzimas actúan sobre las proteínas, sí redujo la velocidad de su digestión (Bassompierre *et al.*, 2015).

Esto ocurre porque, a temperaturas muy altas, las proteínas pueden oxidarse (Tavares *et al.*, 2018), es decir, reaccionar con el oxígeno. Este proceso es similar a cuando una manzana cortada se oscurece: la oxidación altera la estructura original. En el caso de las proteínas, esto hace que se vuelvan más “hidrofóbicas”, lo que significa que repelen el agua en lugar de mezclarse con ella. Como resultado, las proteínas se agrupan formando pequeños grumos (agregados), pierden su solubilidad —es decir, dejan de disolverse fácilmente en el medio acuoso— y se vuelven menos estables.

Para el consumidor, esto se traduce en que las proteínas del pescado o marisco pierden parte de su suavidad y su facilidad para digerirse, y el alimento puede quedar más seco o menos jugoso. En pocas palabras, hervir a temperaturas muy altas puede disminuir tanto el valor nutritivo como la textura agradable del producto marino.

2.4. Al vapor

La cocción mediante calor se ha utilizado desde hace siglos para mejorar el sabor de los alimentos y asegurar su inocuidad, ya que el calor elimina microorganismos dañinos. Una de las formas más antiguas y saludables de hacerlo es la cocción al vapor, que utiliza el vapor de agua caliente para transferir el calor de manera uniforme: primero calienta la superficie del alimento y luego penetra hasta su interior (Li *et al.*, 2017).

Este método se considera una forma de cocción “suave”, ya que evita las altas temperaturas directas del aceite o del horno. Gracias a ello, se reducen las pérdidas de agua y nutrientes, se minimiza la formación de compuestos potencialmente dañinos, como las aminas aromáticas heterocíclicas, y se limitan las oxidaciones de proteínas y grasas (Barzegar *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2017).

En los últimos años, la industria alimentaria ha adoptado versiones modernas de esta técnica, como la cocción a baja temperatura, muy usada en la gastronomía contemporánea. Este tipo de cocción permite mantener los alimentos más jugosos, conservar su sabor natural y preservar los nutrientes, al controlar cuidadosamente la relación entre tiempo y temperatura (Becker *et al.*, 2016).



Diversos estudios han evaluado cómo las condiciones del vapor influyen en la calidad del pescado. Por ejemplo, en el caso de *Coregonus peled*, un pez de agua dulce similar al jurel o a la sierra del Pacífico mexicano, se probaron distintas temperaturas (60 °C, 80 °C y 100 °C) y tiempos de cocción. Los resultados mostraron que las temperaturas más bajas ayudaron a conservar mejor la elasticidad y cohesión del tejido, evitando que el pescado perdiera demasiada agua o se sobrecocinara (Wang *et al.*, 2020b).

En términos sencillos, la cohesión del tejido se refiere a qué tan bien se mantiene unido el músculo del pescado después de cocinarlo. Cuando esta cohesión es buena, la carne se siente firme pero jugosa, no se deshace fácilmente y conserva su textura natural. En cambio, una baja cohesión indica un tejido quebradizo o seco.

Otro estudio, realizado con la lobina negra (*Micropterus salmoides*), comparó distintos métodos de cocción al vapor: tradicional (100 °C), a baja temperatura (75 °C) y dos técnicas escalonadas (100 → 75 °C y 75 → 100 °C). Los resultados mostraron que la cocción escalonada, especialmente de 100 a 75 °C, permitió conservar mejor la calidad del pescado: redujo la oxidación de proteínas y grasas, mantuvo la jugosidad, conservó la piel intacta y realzó los compuestos responsables del buen sabor y aroma, produciendo un pescado más apetitoso y con menos olor a “pescado”, sin perder valor nutritivo (Wang *et al.*, 2020).

En el caso de los mariscos, como los camarones, se ha observado que al aumentar la temperatura del vapor la carne de la cola se vuelve más dura, debido a que el tejido pierde agua y se contrae (Xu *et al.*, 2016).

Además de conservar el sabor y los nutrientes, la cocción al vapor puede ayudar a reducir contaminantes naturales presentes en algunas especies. En la tilapia, por ejemplo, este método puede disminuir hasta un 26 % de la cilindrospermopsina, una toxina producida por ciertas cianobacterias, mientras que hervirla en agua elimina solo cerca del 18 % (Wang *et al.*, 2020). Entre las desventajas, se ha reportado que algunos nutrientes sensibles al calor, como el ácido fólico (vitamina B9) y la vitamina C, pueden reducirse hasta en un 15 % durante la cocción al vapor (Ramos *et al.*, 2023).

Cocinar al vapor —ya sea pescado, camarón o mariscos— es una técnica que combina nutrición, sabor y seguridad, manteniendo los alimentos más suaves y saludables que otros métodos más agresivos.

2.5. A la parrilla

El asado a la parrilla es una de las formas más antiguas y universales de cocinar. Desde que los seres humanos aprendieron a dominar el fuego, este método se ha mantenido presente en las cocinas del mundo. Existen muchas variantes: desde las parrillas tradicionales de carbón hasta las versiones modernas que usan gas o electricidad. En todas ellas, el calor se transmite por contacto directo con las rejillas y por la radiación de las llamas, lo que da ese característico sabor ahumado y una textura firme en el exterior.

Durante el asado al carbón, el calor intenso provoca la pérdida de agua en la carne o el pescado, ya que las proteínas se desnaturalizan (Kim *et al.*, 2002). Es decir, las proteínas —que son largas cadenas con una forma tridimensional específica— se “desenrollan” al calentarse, cambiando la textura del alimento. Esto también modifica la actividad de las enzimas, unas moléculas naturales que actúan como “pequeños motores” o procesos enzimáticos: ellas aceleran muchas reacciones químicas dentro del alimento, como la maduración o el ablandamiento. Cuando las enzimas se desnaturalizan por el calor, dejan de funcionar, lo que detiene ciertos procesos y acelera otros que dependen de la temperatura (Figura 3).



Figura 3. Principales cambios generados por la cocción a la parrilla de pescados y mariscos.



La textura del pescado asado depende de varios factores. Se habla de cohesividad, elasticidad o dureza para describir la sensación al masticar. Por ejemplo, un pescado con buena cohesión se mantiene unido y jugoso, mientras que uno sobrecocido se vuelve seco o quebradizo. En especies como la macarela, se ha observado que el asado incrementa la firmeza y realza los sabores, debido a la formación de compuestos sabrosos derivados de los aminoácidos y ácidos grasos presentes en su carne (Kim *et al.*, 2002).

Uno de los fenómenos más importantes del asado es la reacción de Maillard, que ocurre cuando los azúcares naturales del pescado reaccionan con los aminoácidos de las proteínas a temperaturas superiores a 150 °C. Esta reacción —que no necesita enzimas, por eso se llama *no enzimática*— da lugar a un pardeamiento natural que produce tanto el color dorado como el inconfundible aroma del pescado asado (Liu *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2022; Bassam *et al.*, 2022).

En este proceso se forman las melanoidinas, que son pigmentos marrones responsables del color dorado y del sabor tostado de muchos alimentos cocidos, como el pan, el café o el pescado asado. En el caso del pescado, aunque contiene muy pocos carbohidratos (menos del 0.5 %), los azúcares glucosa y ribosa pueden reaccionar fácilmente. La ribosa, especialmente reactiva, participa en la reacción junto con aminoácidos como glicina, lisina y taurina, permitiendo que el pardeamiento y el aroma ocurran incluso con poco azúcar (Tanabe y Saeki, 2001).

Estos cambios tienen efectos positivos y negativos. Entre los positivos, la reacción de Maillard genera sabores más intensos, colores atractivos y aromas apetitosos, lo que hace que los alimentos sean más agradables para el consumidor. Sin embargo, si el alimento se expone a temperaturas excesivas o tiempos muy prolongados, también se pueden formar compuestos indeseables, como la acrilamida, considerada potencialmente cancerígena en humanos (Hosry *et al.*, 2025). La acrilamida se forma cuando ciertos azúcares y aminoácidos, como la asparagina, reaccionan bajo calor intenso, sobre todo durante la fritura, el horneado o el asado. Por eso, evitar que el pescado se carbonice o sobrecocine ayuda a reducir su formación.

Otra reacción importante es la degradación de Strecker, que ocurre a partir de los compuestos intermedios de la reacción de Maillard. En esta etapa, algunos aminoácidos se transforman en aldehídos que aportan notas aromáticas adicionales (Wall, 2017; Selli *et al.*, 2023). Dependiendo del aminoácido original, los aldehídos pueden dar matices florales, dulces o azufrados; por ejemplo, la metionina genera compuestos como el metanotiol, responsable de un aroma típico en la carne asada (Vidal *et al.*, 2020).

Además, el humo que se produce al quemar carbón o madera también aporta sabor. Durante la combustión de lignanos de la madera se liberan moléculas como el siringol y el guayacol, responsables del característico aroma ahumado. Otros compuestos, como el pirocatacol y los fenoles alquilados, intensifican ese toque de parrilla. Sin embargo, cuando el carbón se quema a temperaturas demasiado altas o el alimento se carboniza, se pueden generar aminas heterocíclicas y hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos con potencial cancerígeno (Costa *et al.*, 2009).

Por ello, para disfrutar de un pescado asado sabroso y seguro, se recomienda evitar la carbonización, mantener temperaturas moderadas y aprovechar el calor indirecto. Así se conservan los aromas agradables de las reacciones naturales del cocinado, sin formar compuestos dañinos.

2.6. Horneado

El horneado es un método de cocción por calor seco, en el cual el pescado se cocina gracias al aire caliente que lo envuelve. Esta técnica permite que el interior se cueza lentamente sin que la superficie se queme. Una de sus principales ventajas es que ofrece una cocción uniforme y requiere menos atención que otros métodos, como freír o saltear.

El aire caliente que circula en el horno alcanza temperaturas entre 140 °C y 250 °C, muy por encima del punto de ebullición del agua. Sin embargo, como el aire conduce el calor con menor eficacia que el agua o el aceite, el horneado necesita más tiempo para cocinar por completo el alimento (Rodríguez y De Hernández, 2006). Durante el proceso, el pescado desarrolla una costra dorada y ligeramente crujiente, resultado de la evaporación del agua en la superficie. Otra ventaja es que apenas requiere añadir grasa, por lo que es una opción tan saludable como la cocción en agua o al vapor (Rodríguez y De Hernández, 2006).

El horneado es ideal para pescados enteros o filetes grandes, ya que ayuda a mantener su jugosidad natural. Para obtener un resultado más tierno, se recomienda hornear con la piel hacia arriba y aplicar una fina capa de aceite: la piel actúa como barrera que evita la pérdida de humedad. Los camarones y langostinos también pueden prepararse al horno —previo descongelado—, colocándolos sobre una cama de sal gruesa con un toque de aceite. Su tiempo de cocción es breve: entre 3 y 5 minutos.

Además de conservar mejor la humedad, este método permite combinar el pescado con hierbas aromáticas, salsas o verduras, potenciando su sabor y aroma sin necesidad de exceso de grasa.



A diferencia del pescado frito, que presenta un tono amarillo-anaranjado intenso, el pescado horneado desarrolla un color más pálido. Esto se debe a que, aunque ocurre la reacción de Maillard —la que da el color dorado y el sabor característico a muchos alimentos horneados—, las temperaturas no son tan altas como en el asado o la fritura. Aun así, se recomienda evitar temperaturas excesivas o tiempos prolongados, y no consumir partes quemadas, ya que pueden generar compuestos indeseables.

En comparación, el pescado frito tiende a ser más duro y menos elástico, mientras que el horneado conserva una textura más suave y jugosa. Además, el horneado ayuda a preservar mejor los nutrientes, ya que los alimentos fritos pierden más vitaminas y compuestos beneficiosos (Uran y Gokoglu, 2014). Este método tampoco altera de manera importante los microelementos como el zinc, cobre, hierro y manganeso (Gall *et al.*, 1983).

Durante el horneado ocurre un fenómeno interesante: a medida que el pescado pierde agua, aumenta de forma proporcional la concentración de lípidos (grasas saludables) y proteínas (Felice, 2011).

Para el consumidor, esto tiene dos implicaciones:

- Una mayor concentración de proteínas y lípidos se traduce en un sabor más intenso, una textura más firme y un alimento más nutritivo, ya que el agua se ha reducido.
- En cambio, si la cocción es demasiado prolongada, el exceso de deshidratación puede hacer que el pescado quede seco, menos jugoso y que se pierdan parte de sus características sensoriales agradables.

Durante el horneado también se observa la separación de las fibras musculares, un indicador de que el pescado está cocido. Esto significa que las láminas del filete comienzan a desprenderse fácilmente unas de otras al presionarlas con un tenedor. Para el consumidor, este detalle visual y táctil es importante:

- Si las fibras se separan con suavidad y el interior sigue jugoso, el pescado se percibe como bien cocido y agradable.
- Si, por el contrario, las fibras están muy separadas y el tejido se deshace o luce seco, el alimento se percibe como sobre cocido y menos apetecible.

En conclusión, el horneado ofrece una combinación equilibrada entre sabor, textura y valor nutricional, convirtiéndose en una de las formas más saludables y apreciadas de cocinar pescado y mariscos.

2.7. Cocina molecular

La cocina molecular es una estrategia orientada a crear una experiencia gastronómica completa. Aplica principios químicos y físicos para innovar en la preparación y presentación de los platillos. Esta técnica combina creatividad, conocimiento técnico y el uso de herramientas y sustancias específicas para transformar pescados y mariscos en formas inesperadas y cautivadoras.

Una de las técnicas más destacadas es el *sous vide*, utilizada por los mejores chefs del mundo (Rinaldi *et al.*, 2013). En este método, los alimentos se sellan al vacío en una bolsa y se cocinan en un baño de agua a baja temperatura, controlada con precisión, durante un tiempo prolongado. El producto resultante puede almacenarse hasta por cuatro semanas a temperaturas entre 1 y 5 °C. *Sous vide* es un término francés que significa "al vacío" (Rinaldi *et al.*, 2013). Esta técnica emergente permite extender la vida de anaquel del producto sin afectar su contenido nutricional. Además, ofrece ventajas sobre otros métodos gracias a las temperaturas relativamente suaves empleadas durante la cocción. El uso de bolsas al vacío ofrece varios beneficios: el calor se transfiere eficientemente del agua al alimento; la falta de oxígeno en el interior de la bolsa inhibe la proliferación microbiana; y se previene la oxidación, evitando sabores extraños. *Sous vide* conserva los nutrientes y sabores, ya que la humedad y los compuestos volátiles permanecen en los empaques herméticos. Las bajas temperaturas (50–70 °C) permiten minimizar la pérdida de vitaminas y antioxidantes (Díaz *et al.*, 2008).

Otra técnica interesante es el uso de la freidora de aire, un electrodoméstico equipado con un ventilador de alta potencia que hace circular aire caliente eficientemente dentro de la cámara de cocción. Esto da como resultado alimentos cocidos de manera uniforme, crujientes por fuera y tiernos por dentro, con muy poco o nada de aceite. Esta alternativa es mucho más saludable que el pescado frito tradicional, sin sacrificar sabor, color o textura (Ayub y Ahmad, 2019). Además, el contenido de proteína es mayor que en la fritura convencional, y en paneles de evaluación sensorial, el freído con aire fue el método más popular entre los consumidores.

También puede utilizarse otro electrodoméstico: el horno de microondas (Guzmán-Guillén *et al.*, 2011). A diferencia de otros métodos donde la energía calorífica se transfiere por conducción,



convección o radiación, en el microondas el calor se genera dentro del alimento mediante excitación molecular. Comparado con métodos como el frito o el hervido, la cocción en microondas es más eficaz para conservar la integridad de los ácidos grasos esenciales. No obstante, el horneado y el asado son más eficientes para mantener el contenido de grasas saludables, en particular el equilibrio de ácidos grasos omega. La cocción por microondas genera una microestructura más compacta en el pescado, debido a un menor grado de desnaturalización de proteínas (Sahin y Sumnu, 2001) lo que mejora la percepción de salinidad y permite reducir la adición de sal, lo cual es relevante para personas con hipertensión.

Estos tres métodos alternativos de cocción —*sous vide*, freidora de aire y microondas— permiten aprovechar diferentes equipos de cocina que promueven una alimentación saludable, sin renunciar a sabores y texturas agradables.

Discusión

Cocinar pescados y mariscos no solo transforma su sabor y apariencia, también modifica de manera profunda sus propiedades nutricionales y sensoriales. Estos cambios dependen del método de cocción empleado, de la intensidad del calor y del tiempo de exposición, pero también están relacionados con factores sociales y culturales que determinan cuánto tiempo destinamos a preparar nuestros alimentos. Hoy en día, muchas familias mexicanas han visto reducido el tiempo disponible para cocinar debido a la incorporación de ambos padres al mercado laboral, al crecimiento urbano y a la necesidad de llevar rutinas más aceleradas. Esta transformación en el estilo de vida ha influido en la manera en que se preparan los pescados y mariscos, favoreciendo métodos rápidos como el uso del microondas o la freidora de aire, en lugar de técnicas más tradicionales como el horneado lento o los caldos prolongados.

En el caso de la fritura, su popularidad se explica por la rapidez y el atractivo sensorial que ofrece: en pocos minutos se obtiene un platillo crujiente y sabroso gracias a la deshidratación superficial y a la reacción de Maillard (NurSyahirah y Rozzamri, 2022; Kathuria *et al.*, 2023). Sin embargo, esta conveniencia culinaria viene acompañada de un costo en términos de salud, ya que la fritura incrementa el contenido calórico, altera el perfil de ácidos grasos omega-3 y omega-6 (Biandolino *et al.*, 2021) y, si no se controla la temperatura, favorece la formación de compuestos nocivos como aldehídos y acrilamida (Hosry *et al.*, 2025; Shibata *et al.*, 2018). En un contexto de vida acelerada, este método se convierte en una opción práctica, pero su consumo frecuente debe moderarse. Para

las familias que recurren a él, es recomendable emplear aceites con alto punto de humo, como el de girasol o cártamo (Zapata, 2004), y mantener tiempos cortos de fritura.

El ceviche, en cambio, responde a otra necesidad del mundo actual: la búsqueda de alimentos frescos, ligeros y fáciles de preparar sin necesidad de calor. El jugo de limón reduce el pH y provoca la desnaturalización de las proteínas, generando una textura firme y un cambio de color en el músculo (Hernández *et al.*, 2024; Brenner *et al.*, 2023). Este método conserva nutrientes sensibles al calor y aporta frescura al platillo, pero implica un reto en términos de inocuidad, ya que la acidez no elimina por completo microorganismos patógenos (Mathur y Schaffner, 2013). Para los consumidores urbanos que desean preparar un platillo rápido y nutritivo, el ceviche es una opción atractiva, aunque exige materia prima de alta calidad y condiciones de higiene estrictas.

El hervido, una de las formas más tradicionales de preparación, representa un contraste con las exigencias de la vida moderna. Cocinar en agua requiere mayor tiempo de exposición al calor, lo que permite desnaturalizar las proteínas y mejorar su digestibilidad (Tavares *et al.*, 2018), pero también implica la pérdida de aminoácidos libres y vitaminas hidrosolubles que se disuelven en el caldo (Totani *et al.*, 2006). Desde una perspectiva social, los caldos de pescado y mariscos han tenido un papel importante en la alimentación comunitaria, especialmente en contextos rurales donde el tiempo destinado a la cocina era mayor. En la actualidad, en ciudades donde las rutinas son más rápidas, este tipo de preparaciones tiende a disminuir, a pesar de que los caldos concentran nutrientes valiosos y ofrecen beneficios digestivos y culturales asociados a la comida familiar.

La cocción al vapor aparece como una alternativa equilibrada entre salud y practicidad. No requiere grasas añadidas, conserva mejor la elasticidad del tejido (Wang *et al.*, 2020) y contribuye a eliminar ciertos contaminantes como la cilindrospermopsina en tilapia (Wang *et al.*, 2020b). Aunque implica un tiempo de preparación intermedio, el vapor se adapta bien a los estilos de vida actuales, ya que existen utensilios eléctricos que simplifican el proceso y permiten cocinar mientras se realizan otras actividades. En contextos urbanos, este método representa una opción viable para familias que buscan comer saludable sin dedicar demasiado tiempo a la cocina.

El asado a la parrilla, en contraste, sigue siendo una práctica muy vinculada a lo social y lo comunitario. Reunirse alrededor de la parrilla para asar pescado no solo responde a un método culinario, sino también a una experiencia cultural. Este proceso intensifica aromas y sabores por la reacción de Maillard y por la acción del humo (Kim *et al.*, 2002; Bassam *et al.*, 2022), pero también implica riesgos cuando la superficie del pescado se carboniza, ya que se forman hidrocarburos aromáticos policíclicos y aminas heterocíclicas (Costa *et al.*, 2009; Viegas *et al.*, 2012). Aunque la



vida moderna ha reducido el tiempo destinado a cocinar diariamente, el asado conserva un lugar importante en fines de semana o celebraciones familiares, lo que refuerza su valor cultural más allá de lo gastronómico.

El horneado, finalmente, combina practicidad, versatilidad y conservación de nutrientes. Requiere poco o nada de grasa, preserva minerales esenciales ([Gall et al., 1983](#)) y mantiene la jugosidad en piezas grandes si se controla el tiempo de cocción ([Rodríguez y De Hernández, 2006](#)). Además, es un método que puede adaptarse fácilmente a la vida urbana, ya que los hornos eléctricos permiten cocinar sin vigilancia constante. En comparación con la fritura, los alimentos horneados pierden menos nutrientes y ofrecen una textura más suave ([Uran y Gokoglu, 2014](#)), lo que los convierte en una alternativa saludable y conveniente para quienes buscan platillos nutritivos sin invertir demasiado tiempo.

En síntesis, cada método de cocción presenta ventajas y desventajas que deben entenderse tanto desde el punto de vista nutricional como desde el social. La fritura y el asado aportan placer sensorial, pero requieren moderación por los riesgos asociados a compuestos tóxicos. El hervido y el vapor son opciones más saludables, aunque implican tiempos distintos y pérdidas de algunos nutrientes solubles en agua. El horneado aparece como un punto intermedio entre sabor, practicidad y conservación, mientras que el ceviche responde a la demanda actual de alimentos frescos y rápidos de preparar. En un contexto donde las dinámicas familiares han cambiado y el tiempo para cocinar se ha reducido, es fundamental transmitir al consumidor que conocer lo que ocurre durante la cocción le permite elegir mejor, equilibrando conveniencia, sabor y salud. Esta perspectiva ayuda a revalorizar los productos pesqueros en la dieta cotidiana, mostrando que es posible integrarlos a estilos de vida acelerados sin perder sus beneficios nutricionales ni sus aportes culturales.

Consideraciones finales

Los pescados y mariscos son ampliamente reconocidos por sus beneficios nutricionales y representan una parte significativa de la dieta humana cuando se preparan siguiendo protocolos adecuados. Cada método de cocción ofrece características sensoriales únicas, y dependiendo del objetivo, ya sea optimizar el sabor, conservar el valor nutritivo o atender consideraciones de salud, se elegirá el método más apropiado.

Los métodos de cocción pueden evaluarse a través de las propiedades mecánicas del alimento, mediante un análisis de perfil de textura. Estas propiedades incluyen dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad, entre otras. La textura está estrechamente relacionada con la disposición de los paquetes musculares, que varía según el método de preparación. También deben considerarse parámetros como la retención de agua y el perfil de aminoácidos.

Para lograr resultados óptimos en la preparación de pescados y mariscos, es fundamental controlar tanto la temperatura como el tiempo de cocción. Esto permite minimizar la pérdida de vitaminas y la degradación de lípidos. Asimismo, es importante prestar atención al tipo de cocción para reducir el riesgo de formación de compuestos tóxicos, especialmente en métodos como la fritura o el asado a la parrilla.

La elección de preparaciones saludables, como la cocción al vapor, en agua o al horno, no implica necesariamente platos insípidos. El uso de ingredientes complementarios como aderezos, caldos, hierbas aromáticas o incluso alcohol puede enriquecer el sabor y hacerlos más atractivos, sin comprometer sus propiedades nutricionales.

Agradecimientos

Este artículo es financiado por un proyecto del Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología (CAR/01/2024) otorgado a la Dra. Rivera Pérez.

Literatura citada

Adedeji, A.A. y M.O. Ngadi. 2011. *Microstructural properties of deep-fat fried chicken nuggets coated with different batter formulation*. International Journal of Food Properties 14: 68–83.



- Akuru, E.A., C.E. Oyeagu, T.C. Mpendulo, F. Rautenbach y O.O. Oguntibeju. 2020. *Effect of pomegranate (Punica granatum L) peel powder meal dietary supplementation on antioxidant status and quality of breast meat in broilers*. Heliyon 6: e05709.
- Ayora D.S. 2014. *El performance de lo yucateco: cocina, tecnología y gusto*. Alteridades 24 (48): 59-69.
- Ayub, H. y A. Ahmad. 2019. *Physiochemical changes in sous-vide and conventionally cooked meat*. International Journal of Gastronomy and Food Science (17): 100145.
- Bansal, G., W. Zhou, P.J. Barlow, P.S. Joshi, H.L. Lo y Y.K. Chung. 2010. *Review of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and comparison with standard methods*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 50 (6): 503-514.
- Barzegar, F., M. Kamankesh y A. Mohammadi. 2019. *Heterocyclic aromatic amines in cooked food: A review on formation, health risk-toxicology and their analytical techniques*. Food Chemistry 280: 240-254.
- Bassam, S.M., C. Noletto-Dias y M.A. Farag. 2022. *Dissecting grilled red and white meat flavor: Its characteristics, production mechanisms, influencing factors and chemical hazards*. Food Chemistry (371): 131139.
- Bassompierre, M., T. Børresen, P. Sandfeld, B. Rønsholdt, M. Zimmermann y E. Mclean. 2015. *An evaluation of open and closed systems for in vitro protein digestion of fish meal*. Aquaculture Nutrition 3(3): 153-159.
- Bechtel, P.J., J.M. Bland, K. Woods, J.M. Lea, S.S. Brashear, S.M. Boue, K.W. Daigle y K.L. Bett-Garber. 2018. *Effect of par frying on composition and texture of breaded and battered catfish*. Foods 4 (7): 46.
- Becker, A., A. Boulaaba, S. Pinggen, C. Krischek y G. Klein. 2016. *Low temperature cooking of pork meat - physicochemical and sensory aspects*. Meat Science 118: 82-88.
- Biandolino, F., I. Parlapiano, G. Denti, V. Di Nardo y E. Prato. 2021. *Effect of different cooking methods on lipid content and fatty acid profiles of Mytilus galloprovincialis*. Foods 2 (10): 416.
- Brannan, R.G., E. Mah, M. Schott, S. Yuan, K.L. Casher, A. Myers y C. Herrick. 2014. *Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods*. European Journal of Lipid Science and Technology 116: 240-254.
- Brenner, M., P. Sørensen y D. Weitz. 2023. *Science and cooking*. Harvard University. E-book.
- Carrillo-Contreras, J., C. Martín-Jiménez, J.A. Chávez Pérez y L.B. Hernández. 2019. *Importancia de la gastronomía tradicional en la zona costera en centla, Tabasco, México*. Hélices y anclas para el desarrollo local / Juan Antonio Márquez Domínguez (dir.), Jorge Llamas Chávez (dir.), 2019, ISBN 978-84-8163-602-4, págs. 930-939.

- Castro-González, M.I., A. Ojeda, J.L. Silencio, L. Oasis, H. Ledesma y F. Pérez-Gil. 2004. Perfil lipídico de 25 pescados marinos mexicanos con especial énfasis en sus ácidos grasos n-3 como componentes nutraceuticos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 34, 328-336.
- Chen, S.D., H.H. Chen, Y.C. Chao y R.S. Lin. 2009. *Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets*. *Journal of Food Engineering* 2 (95): 359-364.
- Chen, Y., P. Li, L. Liao, Y. Qin, L. Jiang y Y. Liu. 2021. *Characteristic fingerprints and volatile flavor compound variations in Liuyang Douchi during fermentation via HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS*. *Food Chemistry* (361): 130055.
- Cheng, J.H., D.W. Sun, Z. Han y X.A. Zeng. 2014. *Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: a review*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1 (13): 52-61.
- Cideco. 2021. Encuesta Nacional de Consumo de Pescados y Mariscos en México 2020, 1ra ed. Ensenada, B.C.: Centro de Investigación y Desarrollo Costero.
- CONAPESCA. 2015. *Tilapia mexicana: producción y consumo*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca.
- CONAPESCA. 2024. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2024*. Gobierno de México.
- Copeland, L., J. Blazek, H. Salman y M.C. Tang. 2009. *Form and functionality of starch*. *Food Hydrocolloids* 23: 1527-1534.
- Costa, M., O. Viegas, A. Melo, C. Petisca, O. Pinho y I.M. Ferreira. 2009. *Heterocyclic aromatic amine formation in barbecued sardines (Sardina pilchardus) and Atlantic salmon (Salmo salar)*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 8 (57): 3173-3179.
- Díaz, P., G. Nieto, M.D. Garrido y S. Bañón. 2008. *Microbial, physical-chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method*. *Meat Science* 2 (80): 287-292.
- Ekawati, E.R. y W. Darmanto. 201). *Lemon (Citrus limon) Juice Has Antibacterial Potential against Diarrhea-Causing Pathogen*. *Environmental Earth Science* 217: 012023.
- Ekiz, E. y F. Oz. 2018. *The effects of different frying oils on the formation of heterocyclic aromatic amines in meatballs and the changes in fatty acid compositions of meatballs and frying oils*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99 (4): 1509-1518.
- Espinosa M. J. 2020. *Evaluación sensorial de los alimentos*. Editorial Universitaria. 126 pp.
- FAO. 2024. *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Felice, R.J. 2011. *Sensory and physical assessment of microbiologically safe culinary processes for fish and shellfish*. Ph. D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University. 167 pp.



- Fizsman, S.M. y A. Salvador. 2003. *Recent developments in coating batter*. Food Science and Technology 14: 399–407.
- Flores Monter, Y.S. y J.M. Crespo Guerrero. 2023. *Hábitos de consumo y valor nutricional de los recursos marinos entre los pescadores de Yucatán, México*. Investigaciones geográficas. 110: e60690.
- Gall, K., W. Otwell, J. Koburgier y H. Appledorf. 1983. *Effects of four cooking methods on the proximate, mineral and fatty acid composition of fish fillets*. Journal of Food Science 4 (48): 1068-1074.
- Guzmán-Guillén, R., A.I. Prieto, I. Moreno, M.E. Soria y A.M. Cameán. 2011. *Effects of thermal treatments during cooking, microwave oven and boiling, on the unconjugated microcystin concentration in muscle of fish (Oreochromis niloticus)*. Food and Chemical Toxicology 49: 2060-2067.
- Hafsa J., M. Smach, R. Mrid, M. Sobeh, H. Majdoub y A. Yasri. 2021. *Functional properties of chitosan derivatives obtained through Maillard reaction: A novel promising food preservative*. Food Chemistry 349 (1): 129072.
- Hernández, B.A.L., A.V. Hernández y J.F.G. Rodríguez. 2024. *Preparación de ceviche*. Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA 25 (13): 66-67.
- Hosry, L., V. Elias, V. Chamoun, M. Halawi, P. Cayot, A. Nehme y E. Bou-Maroun. 2025. *Maillard Reaction: Mechanism, Influencing Parameters, Advantages, Disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review*. Foods 14(11): 1881.
- Hu, L., S. Ren, Q. Shen, J. Chen, X. Ye y J. Ling. 2017. *Proteomic study of the effect of different cooking methods on protein oxidation in fish fillets*. RSC Advances 7 (44): 27496–27505.
- Huynh, M.D. y D.D. Kitts. 2009. *Evaluating nutritional quality of pacific fish species from fatty acid signatures*. Food Chemistry, 114(3), 912-918.
- Ismail, A. y E.H. K. Ikram. *Effects of cookig practices (boiling and frying) on the protein and amino acids contents of four selected fishes*. Nutrition and Food Science 34: 54-59.
- Karimian-Khosroshahi, N., H. Hosseini, M. Rezaei, R. Khaksar y M. Mahmoudzadeh. 2016. *Effect of different cooking methods on minerals, vitamins, and nutritional quality indices of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. International Journal of Food Properties 11 (19): 2471-2480.
- Kathuria D., A. Hamid, S. Gautam y A. Thakur. 2023. *Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies*. Food Control 153 (11): 109911.
- Kim, M.Y., W.S. Joeng y S.K. Chung. 2002. *The physicochemical quality characteristics of charcoal grilled mackerels*. Journal of Food Science 3 (67): 1255-1259.

- Lee Y., T. Tang, E. Phuah, N. Alitheen, C. Tan y O. Lai. 2017. *New functionalities of Maillard reaction products as emulsifiers and encapsulating agents, and the processing parameters: a brief review*. Journal of the Science of Food and Agriculture 97(5): 1379-1385.
- Li, G., A.J. Sinclair y D. Li. 2011. *Comparison of lipid content and fatty acid composition in the edible meat of wild and cultured freshwater and marine fish and shrimps from China*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59(5): 1871–1881.
- Li, H., D. Sun, Z. Han, y X. Yu. 2017. *Effects of low temperature cooking methods and holding times on selected quality attributes of cooked pork longissimus dorsi*. Journal of Food Process Engineering 40(6): e12585.
- Lin, F., J. Lin, X. Liu, Y. Yuan, G. Liu y X. Ye. 2022. *Effects of temperature on muscle growth and collagen deposition in zebrafish (Danio rerio)*. Aquaculture Reports (22): 100952.
- Liu, X., B. Xia, L.-T. Hu, Z.-J. Ni, K. Thakur, Z.-J. 2020. *Wei Maillard conjugates and their potential in food and nutritional industries: A review*. Food Frontiers 1: 382-397.
- Mathur, P. y D.W. Schaffner. 2013. *Effect of lime juice on Vibrio parahaemolyticus and Salmonella enterica inactivation during the preparation of the raw fish dish ceviche*. Journal of Food Protection 6 (76): 1027-1030.
- Mekonnen, M.F., D.T. Desta, F.R. Alemayehu, G.N. Kelikay, y A.K. Daba. 2020. *Evaluation of fatty acid-related nutritional quality indices in fried and raw Nile tilapia, (Oreochromis niloticus) fish muscles*. Food Science and Nutrition 8(9): 4814 4821.
- Moradi, Y., J. Bakar, A.A. Motalebi, S.H. Syed Muhamad y Y. Che Man. 2011. *A review on fish lipid: composition and changes during cooking methods*. Journal of Aquatic Food Product Technology, 20(4): 379–390.
- Morales, J. 2025. *Sabores de Nayarit: Cocina Típica y Tradicional*. B0FR3RD1Z4. 54 pp.
- Moreno F., E. Molina, A. Olano, R. López-Fandiño. 2003. *High- pressure effects on Maillard reaction between glucose and lysine*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(2): 394-400.
- Nollet, L.M. y F. Toldrá. 2009. *Handbook of Seafood and Seafood Products Analysis*. CRC Press. Boca Raton, EUA. 928 pp.
- NurSyahirah, S. y A. Rozzamri. 2022. *Effects of frying on fish, fish products and frying oil—A review*. Food Research 5 (6): 14-32.
- Panchakarla, S., A. Tandle, S. Meshre y K.S. Sunil. 2023. *Battered and breaded products from fish and shellfish: A Review*. Chronicle of Aquatic Science 3 (1): 15-22.
- Park, J.M. y J.M. Kim. 2016. *Monitoring of used frying oils and frying times for frying chicken nuggets using peroxide value and acid value*. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 36 (5), 612.



- Peng, C.Y., C.H. Lan, P.C. Lin, y Y.C. Kuo. 2017. *Effects of cooking method, cooking oil, and food type on aldehyde emissions in cooking oil fumes*. Journal of Hazardous Materials, 324(Part B): 160-167.
- Perea, A., E. Gómez, Y. Mayorga y C.Y. Triana. 2008. *Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 1 (58): 91-97.
- Pérez-Morales F., A.M. Fabila-Echauri y C. Castillo-Guzmán. 2018. *Cocina tabasqueña: Atrapa-mitos de su cultura*. Ensayo. 24(68): 204-2013.
- ProNatura. 2013. *Verdillo paralabrax*. Fip verdillo. Estofado "Silvia".
- Ramos, M., R. Bustillos, S. Santolalla, T. Tuesta, R. Silva-Paz y O. Jordán-Suárez. 2023. *Effect of five cooking methods on the physicochemical, nutritional and sensory characteristics of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. Scientia Agropecuaria 2 (14).
- Ranero Castro, M. 2015. *La cocina primera de México. Sabores del mundo en la gastronomía veracruzana*. Editorial Fénix. 1ra edición. pp 85.
- Rasuli, N., V.P. Bintoro, A. Purnomoadi y N. Nurwantoro. 2021. *The shelf life of buffalo meat marinated with pomegranate (Punica granatum) peel extract*. Journal of Advanced Veterinary and Animal Research 8(4): 612-618.
- Ratnayake, W.S. y D.S. Jackson. 2006. *Gelatinization and solubility of corn starch during heating in excess water: new insights*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 3712-3716.
- Rinaldi, M., C. Dall'Asta, F. Meli, E. Morini, N. Pellegrini, M. Gatti y E. Chiavaro. 2013. *Physicochemical and microbiological quality of sous-vide-processed carrots and brussels sprouts*. Food and Bioprocess Technology (6): 3076-3087.
- Rodríguez, L. y L.G. De Hernández. 2006. *Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos*. Revista de Investigación 2 (6): 179-187.
- Rodríguez-Luna E., L.J. Martínez-Rodríguez y E. Solís Pérez. 2018. *Mapas gastroómicos: la cocina veracruzana como intercambio cultural y comercial*. En: Cádiz: del floreciente s. XVIII al Port of the future del s. XXI. p 523-531.
- SAGARPA. 2017. *Atún mexicano: producción y consumo*. Gobierno de México.
- SAGARPA. 2016. *El camarón mexicano en la mesa*. Gobierno de México.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2020. *Recetario de pescados y mariscos de México*. Gobierno de México.
- SADER. 2021. *Guía de preparación de pescados de cultivo*. Gobierno de México.
- SADER. 2024. *Almejas, el elixir del amor*. Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/143379>

- SADER. 2020. *El pulpo mexicano, ocho razones que lo hacen especial*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-pulpo-mexicano-ocho-razones-que-lo-hacen-especial?idiom=es>
- Sahin, S. y G. Sumnu. 2001. *Effects of microwave cooking on fish quality*. International Journal of Food Properties 3 (4): 501-512.
- Salvador, A., T. Sanz y M.S. Fiszman. 2005. *Effect of the addition of different ingredients on the characteristics of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step*. Food Hydrocolloid 19: 703–708.
- Selli S., O. Sevindik, G. Gluclu y J. Zhao. 2023. *Chapter 6: Flavour of Fish and Fish proteins*. In: *Flavour and Consumer perception of food proteins*. Series: Food Chemistry, Function and Analysis. 119-149 pp.
- Shibata, A., M. Uemura, M. Hosokawa y K. Miyashita. 2018. *Acrolein as a major volatile in the early stages of fish oil TAG oxidation*. Journal of Oleo Science 67: 515-524.
- Suganthi, A., C. Venkatraman y Y. Chezhian. 2015. *Proximate composition of different fish species collected from Muthupet mangroves*. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 2(5): 420-423.
- Sun, A., W. Wu, O.P. Soladoye, R.E. Aluko, K.H. Bak, Y. Fu, Y. Zhang. 2022. *Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds. A review*. Food Research International 151: 110823.
- Szczesniak, A.S. 1986. *Sensory texture evaluation methodology*. Reciprocal Meat Conference Proceedings 39: 86-96.
- Tacon, A.G.J. y M. Metian. 2013. *Fish Matters: Importance of Aquatic Foods in Human Nutrition and Global Food Supply*. Reviews in Fisheries Science 1 (21): 22-38.
- Tanabe M., y Saeki H. 2001. *Effect of Maillard reaction with glucose and ribose on solubility at low ionic strength and filament-forming ability of fish myosin*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 3403-3407.
- Tavares, W. P. S., S. Dong, Y. Yang, M. Zeng y Y. Zhao. 2018. *Influence of cooking methods on protein modification and in vitro digestibility of hairtail (Thichiurus lepturus) fillets*. LWT-Food Science and Technology 96: 476–481.
- Totani, N., T. Kuzume, A. Yamaguchi, M. Takada y M. Moriya. 2006. *Amino acids brown oil during frying*. Journal of Oleo Science 55: 441–447.
- Törös G., F. Peles, H. Elramady y J. Prokisch. 2023. *To What Extent Can Maillard Reaction Products Influence the Probiotic and Harmful Bacteria?* Egyptian Journal of Soil Science 63(2): 177-185.



- Uran, H. y N. Gokoglu. 2014. *Effects of cooking methods and temperatures on nutritional and quality characteristics of anchovy (Engraulis encrasicolus)*. Journal of Food Science and Technology (51): 722-728.
- N.P. Vidal, N.P., C. Manful, T.H. Pham, E. Wheeler, P. Stewart, D. Keough, R. Thomas. 2020. Novel unfiltered beer-based marinades to improve the nutritional quality, safety, and sensory perception of grilled ruminant meats. Food Chemistry, 302: 125326.
- Viegas, O., P. Novo, E. Pinto, O. Pinho y O. Ferreira. 2012. Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. Food and Chemical Toxicology 50(6): 28-34.
- Wall, K. R., A.R. Kerth, R.K. Miller y C. Alvarado. 2017. Effects of Grilling Temperature on Tenderness, Juiciness, and Flavor of Ribeye, Strip Loin, and Top Sirloin Steaks. Meat Science. 150: 141-148.
- Wang, S., C. Li, L. Copeland, Q. Niu y S. Wang. 2015. *Starch retrogradation: a comprehensive review*. Comparative Reviews in Food Science and Food Safety 14: 568-585.
- Wang, K., Y. Bao, Y. Wang, D. Chen y Z. Peng. 2020. *Effects of stepwise steaming treatments at different temperatures on the eating quality of fish: A case of study of large-mouth bass (Micropterus salmoides)*. LWT, 132: 109844.
- Wang, K., X. Lin, W. Zhao, X. Fan, W. Yu, Z. Ma, C. Yu y X. Dong. 2020b. *Low-temperature steaming improves eating quality of whitefish*. Journal of Texture Studies 5 (51): 830-840.
- Wang, Y., G. Tian, K. Mao, B. Chitrakar, Z. Wang, J. Liu, X. Bai, Y. Sang y J. Gao. 2022. *Effects of four cooking methods on flavor and sensory characteristics of scallop muscle*. Frontiers in Nutrition (9): 1022156.
- Weber, J., V.C. Bochi, C.P. Ribeiro, A.d.M. Victório y T. Emanuelli. 2008. *Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (Rhamdia quelen) fillets*. Food Chemistry 1 (106): 140-146.
- Xu, Y., Y. Chen, Y. Cao, W. Huang, S. Zhang, W. Xia y Q. Jiang. 2016. *Effect of steam cooking on textural properties and taste compounds of shrimp (Metapenaeus ensis)*. Food Science and Technology Research 1 (22): 75-81.
- Yu, T. Y., J.D. Morton, S. Clerens y J.M. Dyer. 2017. *Cooking induced protein modifications in meat*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16: 141-159.
- Yu, M., S. He, M. Tang, Z. Zhang, Y. Zhu y H. Sun. 2018. *Antioxidant activity and sensory characteristics of Maillard reaction products derived from different peptide fractions of soybean meal hydrolysate*. Food Chemistry. 243 (15): 249-257.

- Zapata, L.E. 2004. *Utilización de aceite de palma y otros aceites vegetales en la industria de alimentos*. Palmas Especial (25): 253-261.
- Zeng, H., J.W. Chen, J.L. Zhai, H.B. Wang, W.S. Xia y Y.L. Xiong. 2016. *Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber*. LWT-Food Science and Technology 73: 425–431.
- Zeng, X., J. Liu, H. Dong, W. Bai, L. Yu y X. Li. 2020. *Variations of volatile flavour compounds in Cordyceps militaris chicken soup after enzymolysis pretreatment by SPME combined with GC-MS, GC×GC-TOF MS and GC-IMS*. International Journal of Food Science and Technology 2 (55): 509-516.
- Zhang, F., S. Jiang, X. Feng, R. Wang, M. Zeng y Y. Zhao. 2020. *Effect of heat treatment on physicochemical state and in vitro digestion of salt-soluble protein from Pacific oyster (Crassostrea gigas)*. LWT- Food Science and Technology 134: 110126.

Cita

Hernández-Cortés, P. y C. Rivera-Pérez. ¿Qué le pasa a los pescados y mariscos cuando los cocinamos?. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 237-267. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0015>

Sometido: 13 de junio de 2025

Aceptado: 13 de noviembre de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Microplastics: Their Impact on Marine Trophic Networks

Microplásticos: su impacto en las redes tróficas marinas

Víctor Manuel Muro-Torres^{1*} y Kenia Elizabeth Leonardo-Cruz¹

Resumen

La contaminación plástica surgió como un problema ambiental global durante los últimos años, que puede afectar la salud de la biota y los ecosistemas. Los plásticos no desaparecen, sino que se fragmentan progresivamente en partículas cada vez más pequeñas, generando los llamados microplásticos (<5 mm) que hoy contaminan todos los océanos del planeta. La inclusión de la contaminación por microplásticos (MPs) en las interacciones de alimentación dentro de los modelos tróficos abre nuevas vías para la investigación, permitiendo evaluar los efectos de diferentes contaminantes en especies de interés ecológico y comercial. La biodisponibilidad de los MPs es motivo de preocupación para la vida silvestre, ocupan el mismo rango de tamaño que el plancton y los granos de sedimentos, lo que los hace accesibles a una variedad de organismos. Su ingestión directa o indirecta ha sido reportada en una variedad de especies marinas (zooplancton, bivalvos, crustáceos, peces, mamíferos y aves), en diferentes hábitats, con estrategias de alimentación diversas y distintos niveles tróficos en diferentes regiones del mundo. Una vez ingeridos, los MPs pueden causar diferentes afectaciones como una reducción en la capacidad de alimentación, las reservas de energía y el rendimiento reproductivo, así como alteraciones perjudiciales en la función intestinal entre muchas otras. Por lo tanto, es necesario un monitoreo regular de la contaminación por MPs en las especies marinas y abordar la necesidad urgente de promover y adoptar estrategias estrictas de reciclaje, a la vez que se reduce la producción y el uso de plásticos de un solo uso para limitar los desechos plásticos a fin de preservar la salud de los ecosistemas.

Palabras claves: Contaminación, microplásticos, organismos marinos, redes tróficas.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: vmuro@cibnor.mx



Abstract

Plastic pollution has emerged as a global environmental problem in recent years, potentially affecting the health of biota and ecosystems. Plastics do not disappear; rather, they progressively fragment into ever-smaller particles, generating so-called microplastics (<5 mm) that now contaminate all the planet's oceans. The inclusion of microplastics (MPs) contamination in feeding interactions within trophic models opens new avenues for research, allowing the evaluation of the effects of different contaminants on species of ecological and commercial interest. The bioavailability of MPs is of concern to wildlife; they occupy the same size range as plankton and sediment grains, making them accessible to a variety of organisms. Their direct or indirect ingestion has been reported in a variety of marine species (zooplankton, bivalves, crustaceans, fish, mammals and birds), in different habitats, with diverse feeding strategies and distinct trophic levels in different regions of the world. Once ingested, MPs can cause various effects, such as a reduction in feeding capacity, energy reserves, and reproductive performance, as well as detrimental alterations in intestinal function, among many others. Therefore, regular monitoring of MPs pollution in marine species is necessary, as is the urgent need to promote and adopt strict recycling strategies, while reducing the production and use of single-use plastics to limit plastic waste and preserve healthy ecosystems.

Keywords: Pollution, microplastics, marine organisms, food webs.

Introducción

La contaminación plástica se ha convertido en uno de los mayores desafíos ambientales de la actualidad, que puede afectar la salud de la biota y los ecosistemas. Sin embargo, la cantidad exacta de plásticos en los mares y océanos aún se desconoce, esto es especialmente preocupante debido a su persistencia en el medio ambiente y su facilidad de dispersión y los efectos que pueden causar estas grandes piezas de plástico en aves, peces y mamíferos marinos. Sin embargo, su resistencia y lenta degradación, que en condiciones marinas puede extenderse por siglos, han convertido a estos materiales en una amenaza persistente debido a que no desaparecen, sino que se fragmentan progresivamente en partículas cada vez más pequeñas conocidas como microplásticos (MPs) que tienen una longitud menor a 5 milímetros que hoy contaminan todos los mares y océanos del planeta (Figura 1).

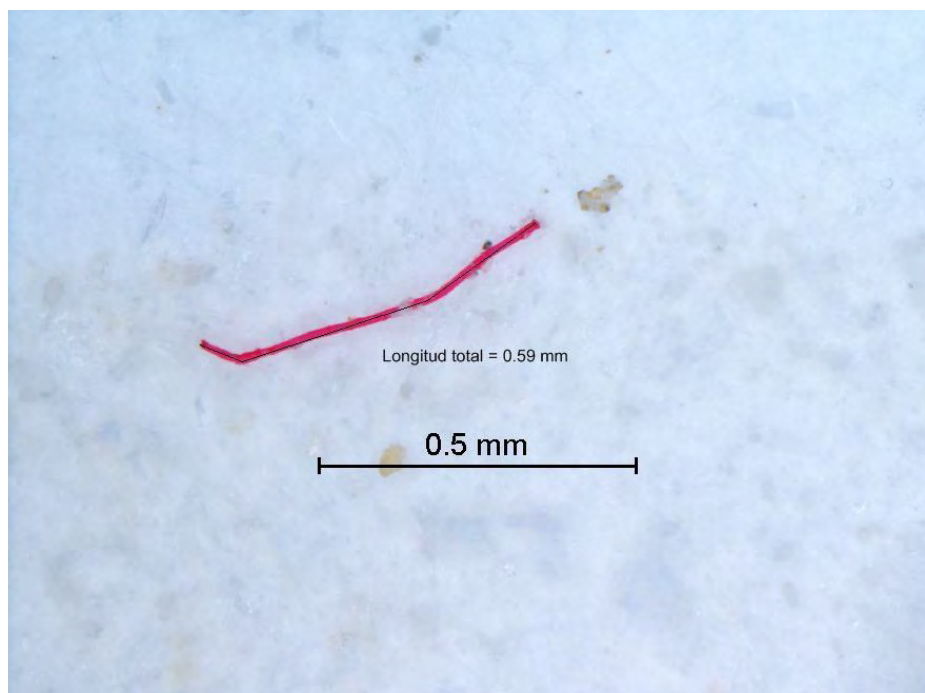


Figura 1. Partícula de plástico menor a 5 mm conocidos como microplásticos.

La biodisponibilidad de MPs para los organismos marinos es muy alta debido a características como su densidad variable, lo que les permite distribuirse en distintos estratos de la columna de agua y en los sedimentos bentónicos. La interacción de los MPs con el plancton y las partículas de sedimento ocasiona que tanto los organismos planctónicos como bentónicos puedan correr el riesgo de ingerir accidental o directamente los MPs (Wright *et al.*, 2013). Sin embargo, el tamaño de los MPs puede ser el factor más importante para los organismos que los ingieren (Andrady, 2011), porque ocupan el mismo rango de tamaño que el plancton y los granos de arena, haciéndolos accesibles a una variedad de organismos con diferentes estrategias de alimentación. En consecuencia, los organismos pueden ingerir cantidades desconocidas junto con las presas naturales, en particular los organismos que no son capaces de seleccionar su alimento como los que filtran grandes cantidades de agua o ingieren sedimentos en busca de nutrientes orgánicos (Cole *et al.*, 2013).

Una vez ingeridos, los MPs pueden provocar un conjunto de mecanismos de reacción que incluyen inflamación (Olmo-Gilabert *et al.*, 2024), reducción en la actividad alimentaria por la obstrucción del tracto digestivo y pérdida de apetito (Compa *et al.*, 2023; Yucel 2023), deficiencias nutricionales (Yucel 2023), impactos significativos en la descendencia por la reducción de la fertilidad (Sussarellu *et al.*, 2016) e incluso la mortalidad de los individuos expuestos a grandes concentraciones (Oliveira *et al.*, 2013). La capacidad de los MPs para limitar la aptitud física de los

organismos, desde el plancton, hasta los depredadores de altos niveles tróficos, restringe naturalmente la biodiversidad y, por consiguiente, degrada los ecosistemas. Aunado a lo anterior los MPs actúan como vectores de otros contaminantes, adsorbiendo en su superficie sustancias tóxicas como pesticidas, metales pesados y disruptores endocrinos, que luego son liberados en los tejidos de los organismos que los ingieren dentro de las cadenas tróficas marinas.

Discusión

La capacidad de los MPs para ingresar a las redes alimenticias en diferentes niveles tróficos es un problema emergente, dada la dificultad de eliminar los MPs del medio ambiente una vez que están presentes. Estas partículas se pueden clasificar según su forma (fibras, fragmentos, esferas etc.), que pueden provenir de diferentes fuentes, también se debe considerar aspectos muy importantes como es el color, tamaño y el tipo de polímero del cual están fabricados (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012) (Figura2).

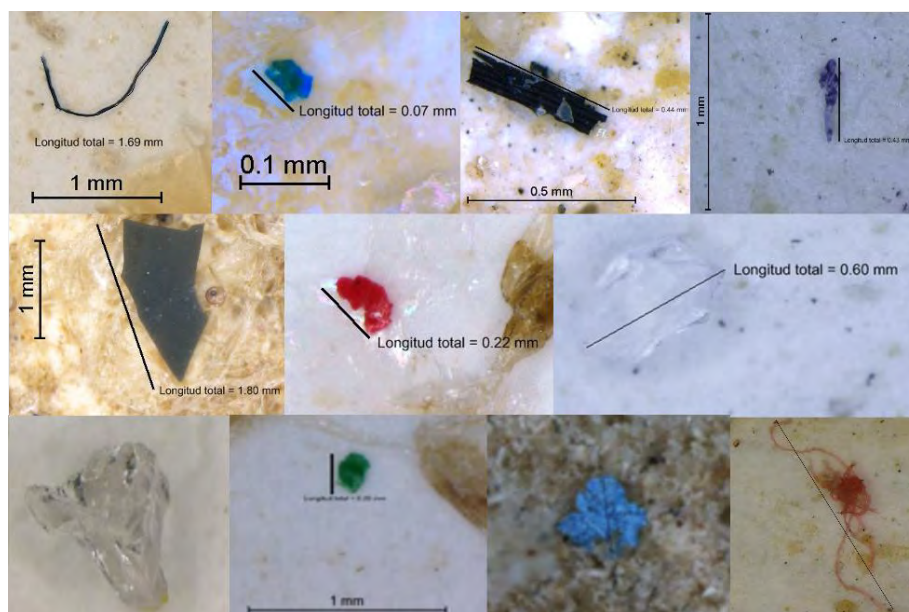


Figura 2. Formas y colores más comunes de las partículas de MPs en los organismos marinos.

La mayoría de los trabajos reportan que alrededor del 80 % de los MPs observados son categorizados como fibras (Piñon-Colin *et al.*, 2018; Gholizadeh *et al.*, 2023). Además, investigaciones reportan que el color más frecuente de estas partículas es el azul (Ory *et al.*, 2017; Cverenkárová *et al.*, 2021). Las diversas estrategias de alimentación de los organismos marinos en muchas ocasiones no les

permiten distinguir entre su alimento y los MPs y pueden consumirlos indiscriminadamente, o ingerirlos deliberadamente confundiéndolos con sus presas, por ejemplo, en el caso del plancton cuyo tamaño es similar al de estas micropartículas. Por otra parte, la exposición no ocurre únicamente al momento de alimentarse, sino que, en algunos casos los pueden incorporar al sistema a través de las branquias en el caso de los peces (Ocean Conservancy, 2018).

El tamaño es una de las principales características utilizadas para clasificar a microplásticos, los cuales por definición son partículas ≤ 5 mm (Figura 1). Diversos estudios han señalado que los microplásticos que más afectan a las especies acuáticas se encuentran en un rango de 0.1 a 3 mm. También se ha mencionado que una pequeña fracción de partículas plásticas puede causar obstrucción gastrointestinal en un organismo, esto depende del tamaño de la partícula como del tamaño del organismo que la ingiere y causar hambre, desnutrición e incluso la muerte (Boerger *et al.*, 2010). Además, cuando las partículas permanecen dentro del organismo, pueden liberar sustancias químicas tóxicas que se disuelven y se trasladan a otros órganos, incrementando los riesgos para la salud (Ríos-Fuster *et al.*, 2021; Stapleton *et al.*, 2023).

El tipo de polímero es un parámetro fundamental en la clasificación de los microplásticos, ya que permite conocer el uso original del objeto del que provienen. En los ecosistemas marinos los polímeros más comunes son el tereftalato de polietileno (PET) (Figura 3), el polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno, el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y policloruro de vinilo (PVC) (Frias *et al.*, 2014; Gholizadeh *et al.*, 2023). Para identificar el tipo de material se utilizan varias técnicas, una de las más utilizadas es la técnica de espectroscopia de transmisión de infrarrojos con transformada de Fourier (FTIR). Con este método se han encontrado una gran variedad de polímeros en las partículas plásticas (tereftalato de polietileno, rayon, algodón, poliamida, acrílico, polietileno, polivinil, poliéster, nailon, celulosa, polipropileno y poliuretano). El PET destaca como uno de los tipos de polímeros plásticos más utilizados por su versatilidad, durabilidad y reciclabilidad (Olavarrieta-García 2017).

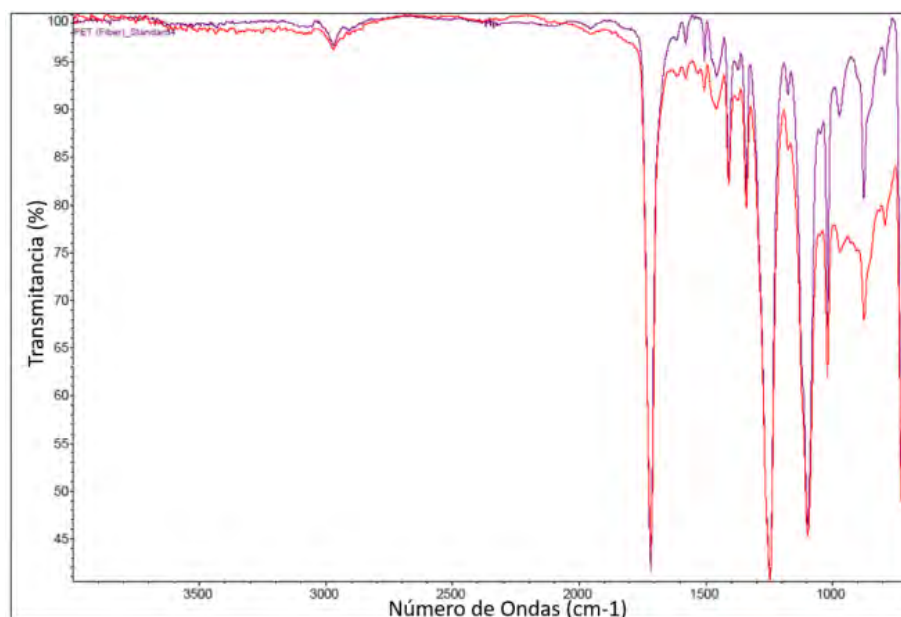


Figura 3. Perfil del polímero plástico tereftalato de polietileno (PET).

Los MPs tienen un gran impacto en el medio marino debido a su distribución generalizada, que permite que su fracción se encuentre ampliamente disponible para los organismos marinos. La transferencia y bioacumulación de estas partículas antropogénicas dentro de las redes tróficas aún está poco documentada; sin embargo, estudios han reportado la transferencia de MPs entre niveles tróficos a través de la depredación (Compa *et al.*, 2018; Rios-Fuster *et al.*, 2019). La ingestión de MPs por organismos de los niveles tróficos inferiores, como fitoplancton y zooplancton, constituye una vía de transferencia hacia niveles superiores dentro de la cadena alimentaria. Esta transferencia ocurre cuando los depredadores consumen presas previamente contaminadas, facilitando así el movimiento de las partículas plásticas a lo largo de la red trófica marina. (Figura 4). En este contexto, debido a que el tiempo de retención de los MPs en el depredador en una cadena alimentaria es mayor que el tiempo transcurrido entre la ingestión y la excreción, existe un aumento en la concentración del contaminante en los tejidos de los organismos de los niveles tróficos más altos. El hecho de que los MPs se bioacumulen o biomagnifiquen depende de muchos factores, incluido el tamaño de la partícula, el tamaño del animal y el comportamiento alimenticio.

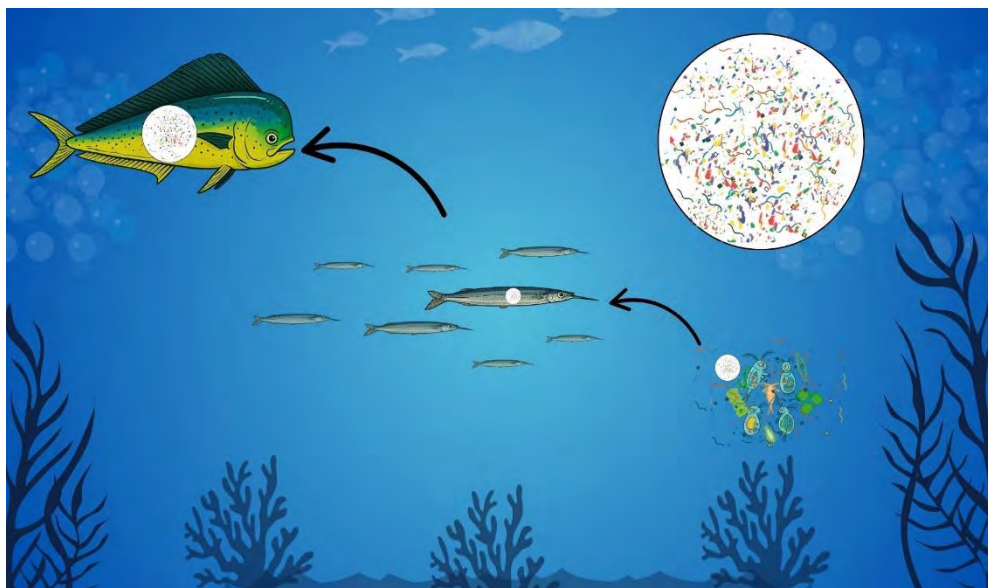


Figura 4. Transferencia de microplásticos (MPs) en una cadena trófica marina. En círculo las partículas de microplásticos.

Cabe destacar que los impactos sobre las poblaciones marinas en su conjunto van en aumento, dada la tasa de producción de plásticos de un solo uso y de su vida útil corta. A pesar de los avances en la investigación, aún existe una brecha en el conocimiento sobre cómo se transfieren los MPs a lo largo de la cadena alimenticia, por lo tanto, existe incertidumbre sobre el impacto total que tiene en la ecología de los ambientes costeros y oceánicos. Comprender el destino de la contaminación plástica en las redes alimentarias, y particularmente el mecanismo por el cual se mueve hacia y a través de las especies, aumentaría nuestra comprensión y capacidad para responder preguntas sobre los efectos ecológicos ya que la ingestión es la interacción más probable entre organismos marinos y MPs.

Consideraciones finales y perspectivas

A medida que la concentración de MPs aumenta cada año en ambientes marinos, también lo hace la frecuencia de ingestión por las diferentes especies que interactúan con ellos. Aunque la mayoría de las revisiones de expertos coinciden en que el riesgo de la salud humana es bajo, esto puede variar de acuerdo al tamaño de la partícula y al tipo de organismo que se consume.

En este contexto, es necesario establecer programas de monitoreo regular para identificar la presencia de MPs en especies marinas y abordar sistemáticamente esta contaminación. Para



mitigar el daño causado por los MPs es necesario promover estrategias más estrictas de reciclaje y reducir la emisión de contaminantes plásticos en general. Para este fin son necesarias legislaciones más estrictas sobre la producción y consumo de productos plásticos, en especial aquéllos de un solo uso y el desarrollo de nuevos y mejores materiales plásticos que no se acumulen en el ambiente.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de posgrado otorgada a Kenia Elizabeth Leonardo Cruz. Al Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología (COSCYT) por financiamiento a proyectos para el estudio de microplásticos en organismos marinos.

Literatura citada

- Andrady, A. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 62:1596-1605.
- Boerger, C. M., Lattin, G. L., Moore, S. L. & Moore, C. J. 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*. 60(12):2275-2278.
- Cverenkárová, K., Valachovicová, M., Mackul'ak, T., Žemlicka, L. & Bírošová, L. 2021. Microplastics in the Food Chain. *Life*. 11, 1349.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead R. & Moger, J., 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science and Technology*. 47: 6646-6655.
- Compa, M., Alomar, C., & Deudero S. 2023. Mapping microplastic overlap between marine compartments and biodiversity in a Mediterranean marine protected area. *Science of the Total Environment*. 892, 164584.
- Frias, J.P.G.L., Otero, V. & Sobral, P., 2014. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine Environmental Research*. 95: 89-95.
- Gholizadeh, M., Shadi A., Abadi, A., Nemati, M., Senapathi, M. & Karthikeyan, S. 2023. Abundance and characteristics of microplastic in some commercial species from the Persian Gulf, Iran. *Journal of Environmental Management*. 344, 118386.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. & Thiel, M. 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science and Technology*. 46(6): 3060-3075.

- Ocean Conservancy. 2018. Cleanup Reports: The International Coastal Cleanup: <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-datarelease/>.
- Olavarrieta-García, T. 2017. Abundancia de microplásticos en la Bahía de La Paz y niveles de ftalatos en el Rorcual Común (*Balaenoptera physalus*). Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento de Ciencias Marinas y Costeras, La Paz, B.C.S., México.
- Oliveira, M., Ribeiro, A., Hylland, K. & Guilhermino, L., 2013. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (teleostei: gobiidae). *Ecological Indicators* 34: 641-647.
- Olmo-Gilabert, R., Fagiano, V., Alomar C., Rios-Fuster B., Compa M. & Deudero, S. 2024, Plastic webs, the new food: Dynamics of microplastics in a Mediterranean food web, key species as pollution sources and receptors, *Science of the Total Environment*. 918, 170719.
- Ory, N.C., Sobral, P., Ferreira, J.L. & Thiel, M. 2017. Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of the Total Environment*. 586: 430-437.
- Piñon-Colin, T.D.J., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M.A., Rogel-Hernandez, E. & Wakida, F.T. 2018. Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. . *Marine Pollution Bulletin*. 131: 63-71.
- Rios-Fuster, B., Alomar, C., Viñas, L., Campillo, J.A., Pérez-Fernández, B., Álvarez, E., Compa, M. & Deudero, S. 2021. Organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) occurrence in *Sparus aurata* exposed to microplastic enriched diets in aquaculture facilities. *Marine Pollution Bulletin*. 173, 113030.
- Stapleton, M.J., Ansari, A.J., Hai, F.I., 2023. Antibiotic sorption onto microplastics in water: a critical review of the factors, mechanisms and implications. *Water Res.*, 119790.
- Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M.E.J., et al. 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 113: 2430-2435.
- Wright, S., Thompson, R., & Galloway, T. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*. 178: 483-492.
- Yücel, N., 2023. Detection of microplastic fibers tangle in deep-water rose shrimp (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) in the northeastern Mediterranean Sea. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 30 (4), 10914-10924.



Cita

Muro-Torres, V.M. y K.E. Leonardo-Cruz. Microplásticos: su impacto en las redes tróficas marinas. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 269-278.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0016>

Sometido: 4 de junio de 2025

Aceptado: 23 de septiembre de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón A. Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

**The fishery and farming of shrimp
in the Gulf of California under climate change**

La Pesquería y Cultivo del Camarón en el Golfo de California ante el Cambio Climático

**Edgardo B. Farach-Espinoza^a, Juana López-Martínez^{a*}, Hugo Herrera-Cervantes^d,
Ricardo García-Morales^c, Carlos H. Rábago-Quiroz^b, Estefani Larios-Castro^a,
Marco A. Porchas-Cornejo^a**

Resumen

El cambio climático (CC) representa un desafío urgente y complejo para la sostenibilidad de la pesca de camarón en el Golfo de California, debido a la elevación en las temperaturas del agua, la acidificación oceánica y el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como El Niño Oscilación del Sur, huracanes, ondas de calor, etc. Estas alteraciones afectan la distribución, reproducción y salud de las especies, además de generar riesgos económicos y sociales para las comunidades que dependen de estas actividades. Las proyecciones a futuro generadas por modelos numéricos de escala global y regional forzados con escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero publicados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, predicen que la temperatura global podría aumentar entre 1.5 °C y 4.0 °C para finales de siglo (2100), mientras que la temperatura oceánica se incrementará de 2 a 3 °C a partir del 2035 al 2100. La modelación ecológica del ciclo de vida del camarón bajo escenarios de CC emerge como una estrategia prometedora para anticipar impactos y orientar acciones de manejo, aunque se requiere realizar estudios más profundos que relacionen directamente estos cambios ambientales con la dinámica poblacional de estas especies y con las economías locales.

^aCentro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas, Guaymas, Sonora, México.
efarach@pg.cibnor.mx, jlopez04@cibnor.mx, elarios@cibnor.mx, mporchas04@cibnor.mx

^bCentro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera, Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, La Paz, Baja California Sur, México. carlos.rabago@imipas.gob.mx

^cCentro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Nayarit (UNCIBNOR), Tepic, Nayarit, México. rgarcia@cibnor.mx

^dCentro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad La Paz, La Paz, Baja California Sur, México. hherrera@cicese.mx

*Autor de correspondencia: jlopez04@cibnor.mx



Por su parte, se pronostica que las prácticas acuícolas de estos organismos sufran modificaciones debido a los efectos del CC que inciden sobre su metabolismo, tasas de crecimiento, incluso susceptibilidad a enfermedades, sin embargo, las inundaciones y sequías, se reconocen como los impactos más significativos para la acuicultura. Así, la vulnerabilidad de las comunidades pesqueras y acuícolas hace imprescindible fortalecer sus capacidades de adaptación mediante investigación aplicada, innovación tecnológica, uso de prácticas sostenibles, monitoreo ambiental y políticas públicas integradas. La cooperación interdisciplinaria y un enfoque de gestión colaborativa serán claves para reducir riesgos, proteger los ecosistemas marinos y asegurar la estabilidad y resiliencia del sector productivo del camarón en el futuro, garantizando así la conservación de los recursos y el bienestar de las comunidades regionales.

Palabras clave: pesca, acuicultura, camarones peneidos, Golfo de California, cambio climático.

Abstract

Climate change (CC) poses an urgent and complex challenge to the sustainability of shrimp fishing in the Gulf of California, due to rising water temperatures, ocean acidification, and the increased frequency and intensity of extreme weather events such as El Niño Southern Oscillation, hurricanes, heat waves, etc. These changes affect the distribution, reproduction, and health of species, as well as generating economic and social risks for communities that depend on these activities. Future projections generated by global and regional numerical models forced with greenhouse gas emission scenarios published by the Intergovernmental Panel on Climate Change predict that global temperatures could rise between 1.5 °C and 4.0 °C by the end of the century (2100), while ocean temperatures will increase by 2 to 3 °C from 2035 to 2100. Ecological modeling of the shrimp life cycle under CC scenarios is emerging as a promising strategy for anticipating impacts and guiding management actions, although more in-depth studies are needed to directly link these environmental changes to the population dynamics of these species and local economies. In addition, aquaculture practices involving these organisms are expected to undergo changes due to the effects of CC on their metabolism, growth rates, and even susceptibility to disease. However, flooding and drought are recognized as the most significant impacts on aquaculture. Thus, the vulnerability of fishing and aquaculture communities makes it essential to strengthen their adaptive capacities through applied research, technological innovation, the use of sustainable practices, environmental monitoring, and integrated public

policies. Interdisciplinary cooperation and a collaborative management approach will be key to reducing risks, protecting marine ecosystems, and ensuring the stability and resilience of the shrimp production sector in the future, thus guaranteeing the conservation of resources and the well-being of regional communities.

Key words: fishery, aquaculture, penaeid shrimp, Gulf of California, climate change.

Antecedentes

En Latinoamérica y el Caribe, actividades como la agricultura, el turismo, la pesca y la acuicultura, que son considerados como pilares económicos y sociales, dependen directamente de la salud de los recursos naturales. Sin embargo, la región enfrenta un reto cada vez mayor: la variabilidad climática, cuyos impactos ya son evidentes y amenazan con desestabilizar estos sectores importantes (FAO, 2009). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha alertado sobre las serias consecuencias que el cambio climático (CC) tendrá en la pesca y la acuicultura, comprometiendo la alimentación de muchas poblaciones (Cochrane *et al.*, 2011). Esta preocupación centralizó el debate en un simposio científico internacional sobre el tema en Roma, en 2008, reuniendo a expertos de todo el mundo para analizar los desafíos para la pesca y las comunidades que dependen de ella (FAO, 2009). Además, eventos climáticos extremos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), ya conocidos, intensificarán su frecuencia e impacto (FAO, 2009). El calentamiento oceánico persistirá, aunque con fluctuaciones geográficas y temporales, no se limita a la superficie; el Atlántico ya muestra signos de calentamiento en sus profundidades (FAO, 2009).

En México, en particular el Golfo de California (GC), que es un extenso ecosistema de vital importancia que sustenta una biodiversidad excepcional y constituye un pilar fundamental para la economía y la cultura de la región noroeste de México, es hogar de alrededor de 5000 especies de macroinvertebrados marinos, incluidas valiosas especies de camarones peneidos como el camarón café (*Penaeus (Farfantepenaeus) californiensis* Holmes, 1900), azul (*Penaeus (Litopenaeus) stylirostris* Stimpson, 1871) y blanco (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei* Boone, 1931) (Figura 1) (Meltzer *et al.*, 2012; Sáenz-Arroyo *et al.*, 2006). Sin embargo, el CC plantea serias amenazas que podrían alterar drásticamente las pesquerías de camarón en esta región (Cota-Durán *et al.*, 2021; Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2011).



Camarón café (*Penaeus* (*Farfantepenaeus*) *californiensis*)
Holmes, 1900.
Fuente: hyperiodic-iNaturalist,
disponible en:
<https://www.inaturalist.org/observations/200784753>



Camarón azul (*Penaeus* (*Litopenaeus*) *stylirostris*)
Stimpson, 1871.
Fuente: Del Pacifico Seafoods,
disponible en:
<https://delpacificoseafoods.com/es/camaron-azul-hoso/>



Camarón blanco (*Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei*) Boone,
1931.
Fuente: A.M. Arias, disponible en:
http://www.ictieterm.es/nombre_cientifico.php?nc=235

Figura 1. Principales especies de camarones peneidos capturados y cultivados en el noroeste de México.

El calentamiento global ha comenzado a provocar un aumento en las temperaturas del agua y un cambio en los patrones climáticos (Xie, 2020; Xie *et al.*, 2010), con potenciales efectos en regiones como el GC y afectando también a la pesquería del camarón (Macusi *et al.*, 2022). Además de forzar a dichas especies a migrar hacia hábitats más favorables (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2015; Cota-Durán *et al.*, 2021). En el ámbito acuícola, se esperan impactos derivados del estrés térmico, incluyendo efectos sobre su metabolismo (Kir *et al.*, 2023; Spanopoulos-Hernández *et al.*, 2005; Topuz y Kir, 2023) y sus tasas de crecimiento (Al-Masqari *et al.*, 2022; López-Martínez *et al.*, 2003; Villarreal y Hernández-Llamas, 2005). Asimismo, la acidificación de los océanos derivada del incremento de dióxido de carbono como resultado del CC, puede promover estrés oxidativo y metabólico en los camarones, con potenciales efectos en su sistema inmune, haciéndolos más susceptibles a patógenos y enfermedades (Muralisankar *et al.*, 2021; Ramaglia *et al.*, 2024; Weerathunga *et al.*, 2021, 2023), además de afectar indirectamente al camarón al debilitar las bases de la cadena alimentaria marina e impactando en el ciclo de carbono en el océano (Weerathunga *et al.*, 2023).

La sobreexplotación y el sobredimensionamiento de la flota camaronera son otros desafíos preexistentes, que agravan los efectos del CC, complicando la sostenibilidad de las pesquerías de camarón (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2019; Benavides *et al.*, 2024). Además, la presión sobre los ecosistemas estuarinos, los cuales son críticos para la reproducción y desarrollo del camarón, y que al mismo tiempo son áreas importantes para la actividad acuícola, se ve incrementada por eventos climáticos extremos, como las sequías y tormentas intensas, que afectan la calidad del

agua, la disponibilidad de nutrientes y, en consecuencia, la salud general del ecosistema y de los sistemas de cultivo de camarón (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2019; Reid *et al.*, 2019).

Enfrentar los retos que el CC representa para la pesca y cultivo de camarón requiere de la colaboración entre gobiernos, organizaciones no gubernamentales, la academia, las comunidades locales y la industria pesquera y acuícola mediante la creación de políticas públicas que promuevan prácticas sostenibles y el intercambio de conocimientos y recursos que conduzcan a la resiliencia de las comunidades costeras que dependen de la pesca y acuicultura, fomentando tanto prácticas para la preservación del ambiente, como también para asegurar la continuidad y estabilidad económica de estas comunidades. Para ello, es importante impartir conocimiento para concienciar sobre las prácticas sostenibles y las nuevas tecnologías, incluyendo la formación sobre gestión eficiente de recursos, adaptación a condiciones cambiantes y métodos de pesca y cultivos responsables. La adopción de estas prácticas y nuevas tecnologías busca garantizar que las actividades del sector camaronero en el GC puedan continuar generando beneficios económicos y sociales en el futuro.

El Golfo de California

El GC es un ecosistema reconocido como una de las regiones con mayor riqueza biológica. Además, posee una alta variedad de ambientes, incluyendo aguas costeras como lagunas, estuarios y humedales, además de hábitats bentónicos y regiones pelágicas, todos ellos caracterizados por una alta productividad y biodiversidad (Brusca, 2010; Munguía-Vega *et al.*, 2018). Esto le permite albergar una extraordinaria cantidad de especies, particularmente de macroinvertebrados marinos, de las cuales predominan los moluscos y los crustáceos (Lluch-Cota *et al.*, 2007; Brusca y Hendrickx, 2010). Asimismo, el GC desempeña un papel fundamental en la economía y cultura de las comunidades costeras que dependen de los recursos marinos en la región.

Al situarse en una zona de transición templado-tropical, el GC presenta alta variabilidad física y ecológica a diferentes escalas temporales, siendo la estacional una de las principales. En esta escala, la circulación del océano está dominada por el intercambio de agua entre el Golfo y el océano Pacífico, por el régimen de vientos y por el intercambio de calor entre la atmósfera y el océano (Castro *et al.*, 1994). Esto promueve que en invierno-primavera aparezcan las surgencias costeras en la costa oriental que, junto con la continua mezcla por mareas en la región de las grandes islas y en las bahías someras de la región norte, contribuyen considerablemente a la alta productividad primaria del GC (Robles-Tamayo *et al.*, 2020).



Además de la variabilidad estacional, también hay señales de escala interanual como el ENOS, que dependiendo de su intensidad y duración puede intensificar la propagación de ondas internas que transportan agua más cálida hacia el interior del GC (Herrera-Cervantes *et al.*, 2007). También se ha documentado la variabilidad a escalas de tiempo más largas como la decenal e inter-decenal, la cual puede llegar a tener efectos en la productividad primaria y secundaria (Lluch-Cota *et al.*, 2010). La variabilidad en estas escalas y la interacción entre ellas, contribuyen a mantener un gran número de especies que son base para las pesquerías más importantes en México (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2017; Castro-Ortíz y Lluch-Belda, 2008), las cuales aportan alrededor del 40 al 60% de la captura pesquera nacional (Cisneros-Mata, 2010). Esta producción generalmente deriva de las principales pesquerías del país (pelágicos menores, calamar gigante, atún aleta amarilla y camarones peneidos), contribuyendo con alrededor del 40% del total de las capturas marinas nacionales en términos de volumen (Lluch-Cota *et al.*, 2010, 2007). Solo en 2017, en el GC se registraron aproximadamente 1.5 millones de toneladas de capturas, lo que equivale aproximadamente al 71% de la producción total nacional (Domínguez y Tiburcio, 2021). Además, la zona costera del noroeste de México se ha convertido en un centro para la acuacultura de camarones peneidos debido a las características favorables de sus lagunas costeras, contribuyendo con alrededor del 70.3% de la producción acuícola del país (Del Río Salas *et al.*, 2016).

Pesquería de camarones peneidos en el Golfo de California

La economía en la región del GC está intrínsecamente asociada con la pesca, especialmente la del camarón, la cual representa una fuente significativa de ingresos para las comunidades locales, favoreciendo a miles de familias que dependen de esta actividad para su sustento (Figura 2). Los ingresos de esta actividad son mayores a los 132 millones de dólares por temporada, generando más de 30 mil empleos directos e indirectos (Lluch-Cota *et al.*, 2007). En la región noroeste de México, Sonora y Sinaloa aportan las mayores capturas de esta pesquería (ver figura 3) (CONAPESCA, 2014, 2023), en gran medida debido al alto número de lagunas costeras y áreas propicias para que las embarcaciones realicen el arrastre de fondo a lo largo de la plataforma continental (López-Martínez *et al.*, 2001). En esta región, tres especies de camarones peneidos representan más del 90% de las capturas totales de camarón, el camarón café, el camarón azul y el camarón blanco (Cota-Durán *et al.*, 2021), considerando este último como una de las especies más cultivadas a nivel global en la acuacultura (FAO, 2020). La distribución de estas tres especies está asociada a sistemas estuarinos, lagunas costeras y zonas costeras tropicales y subtropicales, las cuales se ven influenciadas por una alta

variabilidad ambiental, biológica y ecológica (López-Martínez *et al.*, 2008). Estos sistemas costeros en el GC actúan como áreas de crianza y refugio para los camarones juveniles, brindando condiciones más seguras en comparación con el océano abierto, ya que ofrecen protección contra depredadores y condiciones estables para las primeras etapas de vida del camarón, proporcionando un hábitat esencial donde los organismos pueden desarrollarse con seguridad (Crooks y Turner, 1999). Por otra parte, la mezcla de agua dulce y salada en los estuarios crea un entorno de alta productividad biológica, la cual es crucial para la vida marina, ya que genera una abundancia de nutrientes que permiten el crecimiento de algas y fitoplancton, componentes esenciales en la dieta de los camarones. La alta productividad en estas áreas convierte a los estuarios en puntos críticos para la producción de muchas especies marinas (Camacho-Ibar y Rivera-Monroy 2014).

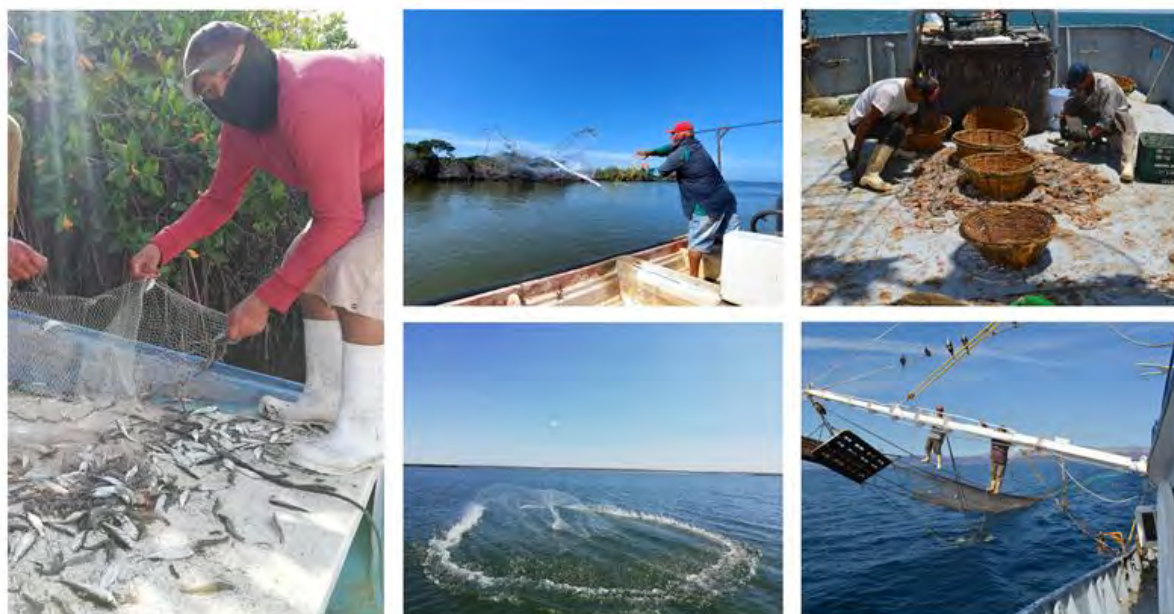


Figura 2. Actividad de la pesca de camarón efectuada por embarcaciones menores (panel izquierdo y centro) y por embarcaciones de alta mar (panel derecho). Fotografías de Carlos H. Rábago Quiroz y Araceli Ramos Montiel.

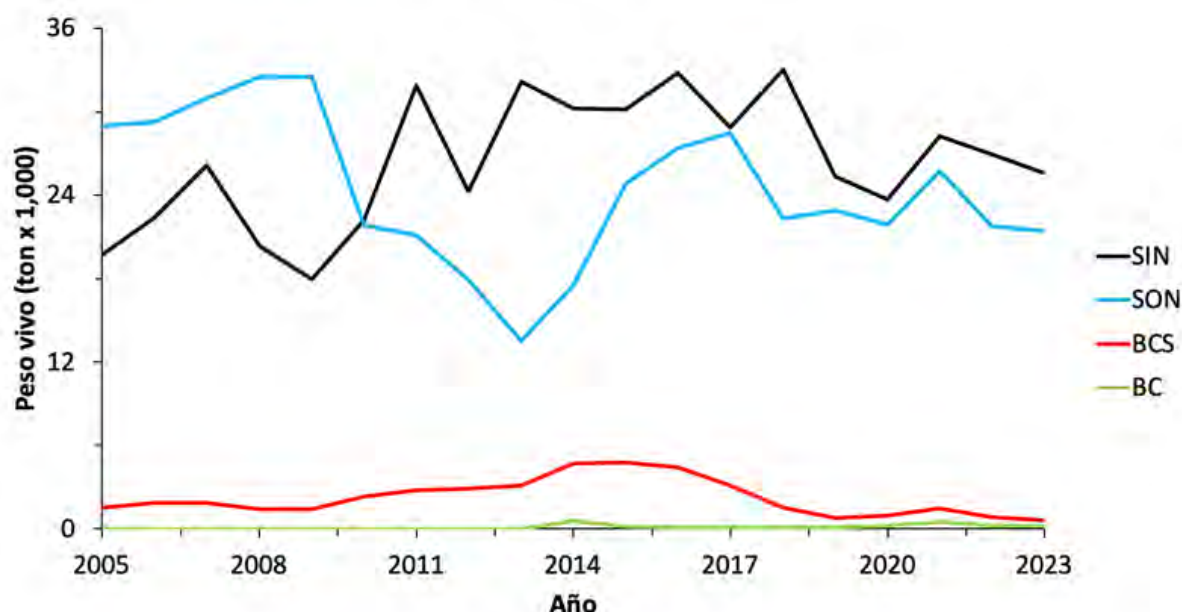


Figura 3. Producción de camarón silvestre (azul, café y blanco) de las temporadas 2005-2023, por entidad federativa en el noroeste de México. Fuente de los datos: CONAPESCA (2014, 2023).

Cada una de estas tres especies de camarones peneidos presenta preferencia a condiciones ambientales específicas, por ejemplo, el camarón café generalmente se localiza sobre sustratos relativamente duros y aguas más claras (García-Borbón *et al.*, 1996), además de que se ha sugerido que las capturas de esta especie se han visto beneficiadas cuando se presentan condiciones de El Niño (Cota-Durán *et al.*, 2021), mientras que el camarón azul prefiere las áreas cercanas a los estuarios y tolera salinidades superiores al promedio (García-Borbón *et al.*, 1996); asimismo, se ha documentado una importante asociación entre altas capturas y condiciones de La Niña, mientras que se han correlacionado bajas capturas cuando se presentan condiciones de El Niño (Cota-Durán *et al.*, 2021). Por otro lado, al camarón blanco usualmente se le encuentra en aguas cercanas a deltas de ríos, estuarios y lagunas costeras, no tolera las bajas temperaturas ni las altas salinidades, y ha mostrado preferencia por temperaturas del agua entre los 24 a 30 °C (INAPESCA, 2016), a la vez que sus capturas se han visto favorecidas cuando se presentan condiciones de La Niña (Cota-Durán *et al.*, 2021).

En México, en particular en el noroeste, la captura de camarón ha mostrado importantes fluctuaciones (Figura 4), las cuales están asociadas tanto al esfuerzo pesquero, como a la variabilidad en el ambiente, lo que sugiere que existe una vulnerabilidad a los cambios ambientales que afectan su alimentación, abundancia, distribución y biomasa (Cota-Durán *et al.*, 2021). Por lo tanto, esta pesquería enfrenta desafíos importantes derivados de la sobreexplotación del recurso, el sobredimensionamiento de la flota y también por los efectos del clima cambiante asociado a la variabilidad climática (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2017, 2019).

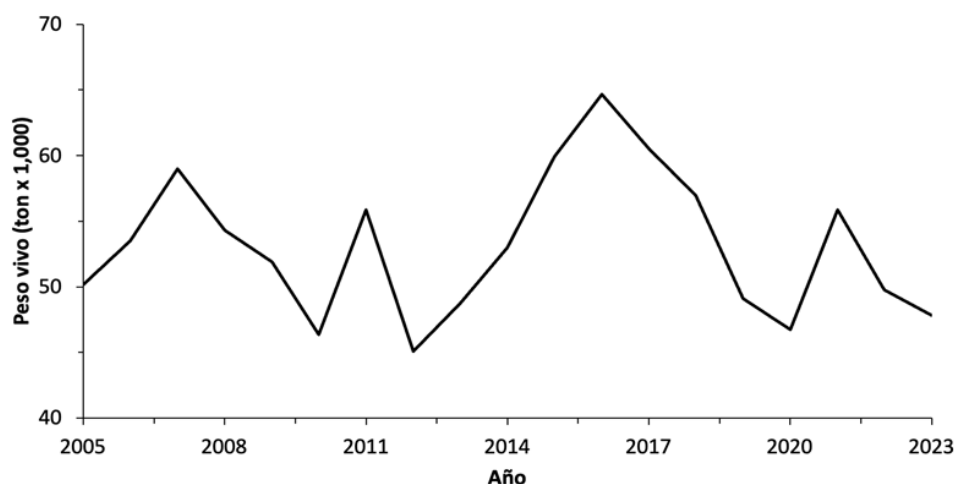


Figura 4. Variación temporal (2005-2023) de la producción de camarón silvestre (azul, café y blanco) en el noroeste de México. Fuente de los datos: CONAPESCA (2014, 2023).

Cultivo de camarones peneidos en el Golfo de California

La creciente demanda global de proteínas de pescado y mariscos ha impulsado una rápida expansión de las granjas de camarón en varios países de América del Norte y del Sur, incluyendo a México (FAO, 2020; Naylor *et al.*, 2021). Desde el punto de vista económico, la producción de camarón es de gran importancia, situando al país en el séptimo lugar en la acuacultura de crustáceos a nivel mundial (FAO, 2020, 2022). En particular, la zona costera del noroeste de México se ha convertido en un centro para la acuacultura de camarones peneidos debido a las características favorables de sus lagunas costeras (Del Río Salas *et al.*, 2016). Por ejemplo, en 2010 el 97.7% de la producción acuícola en esta región provino de las granjas camaroneras, por lo que esta actividad contribuye significativamente a las economías locales mediante la creación de empleos y la generación de ingresos a través de las exportaciones (Del Río Salas *et al.*, 2016). Recientemente, en el año 2020, la producción de camarón generó ingresos de aproximadamente 676 millones de dólares estadounidenses en los estados de Sonora y Sinaloa (CONAPESCA, 2020). En esta área las granjas camaroneras se han desarrollado de forma acelerada, especialmente en las zonas próximas a la costa del GC (Figura 5). En las últimas tres décadas, Sonora y Sinaloa han experimentado un desarrollo constante de estas granjas, concentrando la mayor parte de los estanques de acuacultura del país (Berlanga-Robles *et al.*, 2024). En 2020, estos estados aportaron casi el 88% del total de la producción nacional de camarón (Figura 6) (CONAPESCA, 2020).



Figura 5. Actividad de las granjas camaroneras en el noroeste de México. Fotografías de Marco Porchas Cornejo.

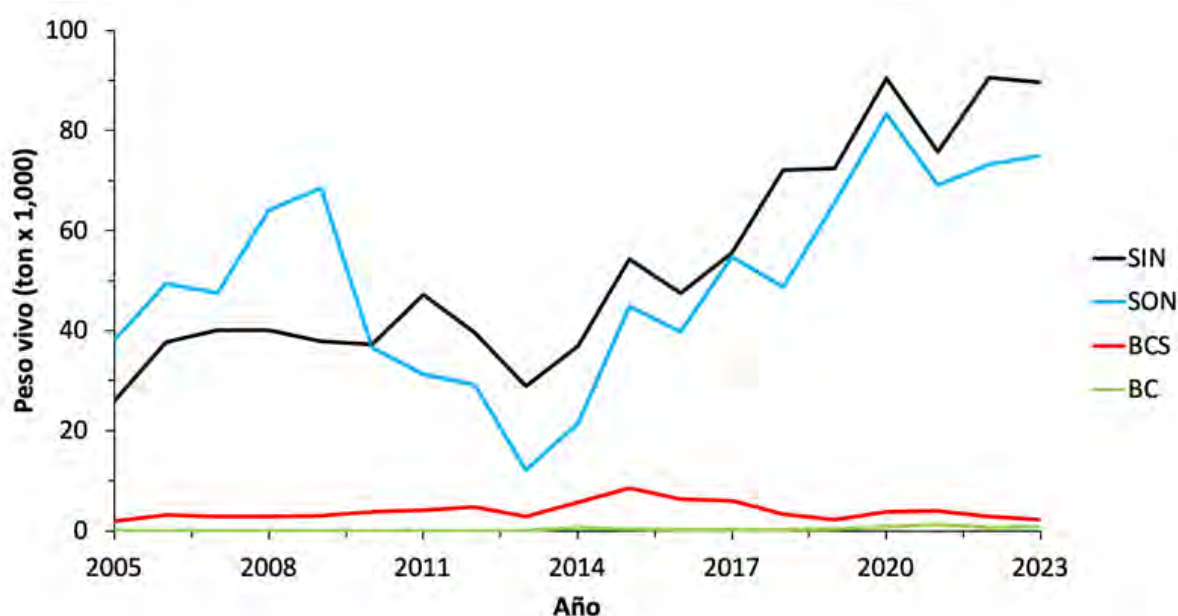


Figura 6. Producción de camarón cultivado por entidad federativa en el noroeste de México. Fuente de los datos: CONAPESCA (2014, 2023).

A pesar de sus beneficios económicos, la acuacultura puede tener efectos ambientales adversos, incluyendo conflictos con otras actividades económicas como la pesca, la agricultura y el turismo, además de la deforestación de manglares y contaminación de cuerpos de agua (Del Río Salas *et al.*, 2016). Las granjas de camarón se ubican en diversos ecosistemas, incluyendo

lagunas costeras, manglares, sistemas agrícolas e incluso ecosistemas de matorral y desierto (González-Rivas y Tapia-Silva, 2023); la conversión de tierras para granjas camaroneras puede alterar la hidrología de los ecosistemas, disminuir la capacidad de almacenamiento de agua y provocar la pérdida de vegetación. Asimismo, la descarga de materia orgánica de las operaciones acuícolas puede causar eutrofización, lo que lleva a una reducción de la calidad del agua y floraciones de algas nocivas (Páez-Osuna *et al.*, 1998), además de que muchos estanques camaroneros han caído en desuso (González-Rivas y Tapia-Silva, 2023).

Este crecimiento acelerado de la actividad acuícola ha traído consigo la transformación de diversos ecosistemas en estanques para el cultivo de camarón, lo que ha despertado un notable interés de investigación en torno a los impactos ambientales y sociales asociados, así como en el desarrollo de métodos para promover un avance más sostenible de esta industria (Martínez-Durazo *et al.*, 2019; Martínez-Porchas y Martínez-Cordova, 2012; Sampantamit *et al.*, 2020). Para mitigar los impactos ambientales de la acuicultura, deben implementarse estrategias sostenibles. Los enfoques de eco-tecnología, como la acuicultura multitrófica integrada (AMTI), pueden promover la autorregulación y minimizar la alteración ecológica (Del Río Salas *et al.*, 2016). La AMTI implica la combinación del cultivo de diferentes especies, como camarones y mariscos, para mejorar el reciclaje de nutrientes y reducir los residuos. Además, la reducción de las tasas de intercambio de agua, la implementación de biofiltros y la gestión cuidadosa de los insumos de alimentación pueden minimizar la contaminación (Hopkins *et al.*, 1995).

Sumado a estas problemáticas a las que se enfrenta muchas veces la acuicultura de camarón, esta actividad también es vulnerable a factores ambientales, como los efectos que puede tener el aumento del nivel del mar, los cambios de temperatura, las precipitaciones, las inundaciones, el estrés hídrico, las floraciones de algas, la acidificación, El Niño/La Niña y los efectos climáticos indirectos en la producción acuícola (Ahmed *et al.*, 2019; Gasalla *et al.*, 2017; Reid *et al.*, 2019).

Proyecciones futuras de la temperatura superficial del mar para el Golfo de California

El CC es un fenómeno que se refiere a las alteraciones de largo plazo (del orden de varias décadas) en las temperaturas y los patrones climáticos de la Tierra. Aunque estas variaciones pueden ocurrir de manera natural en escalas geológicas, en la actualidad, el término se utiliza comúnmente para referirse al calentamiento global y a otras alteraciones climáticas que son en gran medida el resultado de actividades humanas, especialmente desde la Revolución Industrial que comenzó alrededor de 1760.



El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como "un cambio en el estado del clima que se puede identificar, mediante el uso de estadística básica y salidas de modelos numéricos de escala global y regional forzadas con escenarios de cambio climático (emisiones de gases de efecto invernadero), observando cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, típicamente décadas o más", evidenciando modificación en las variables y los climas regionales o globales a lo largo del tiempo (cambios en temperaturas, precipitaciones y patrones de viento se consideran parte del cambio climático) (IPCC, 2021). Según el IPCC, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual, se proyecta que la temperatura global podría aumentar entre 1.5 °C y 4.0 °C para finales de siglo (2100). Este aumento tendrá efectos devastadores en el clima y los ecosistemas, dependiendo en gran medida de la efectividad de las acciones colectivas para reducir estas emisiones (Lenton *et al.*, 2019). Con base en salidas de modelos de circulación general de la atmósfera forzados por escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero propuestos por IPCC, se han obtenido proyecciones futuras globales de la temperatura superficial del mar (TSM), evidenciando un incremento paulatino en la TSM entre 2 ° y 3 °C a partir del 2035 hasta finales de siglo, con un incremento en la duración de los veranos y la consecuente reducción del período invernal.

Las salidas mensuales (estructuradas en series de tiempo) del modelo de circulación general de la atmósfera MRI-AGCM, forzado por escenarios de emisiones moderadas de gases de efecto invernadero (publicadas por el IPCC en 2007, Mizuta *et al.*, 2006, 2017) fueron utilizadas para observar la evolución temporal del ciclo anual promedio de la TSM para la región del GC cubriendo el periodo 2000-2100 (Figura 7). Los valores de promedio mensual se calcularon promediando los cuadrantes de 1° x 1° ubicados en el área del Golfo de California, mostrando incrementos paulatinos de la TSM (>28° C) y una expansión de los veranos a partir del período 2030-2050, estos valores se vuelven más pronunciados y con mayor intensidad (valores >30° C) al final del siglo (2075-2100) donde también se observa una reducción de del ciclo invernal.

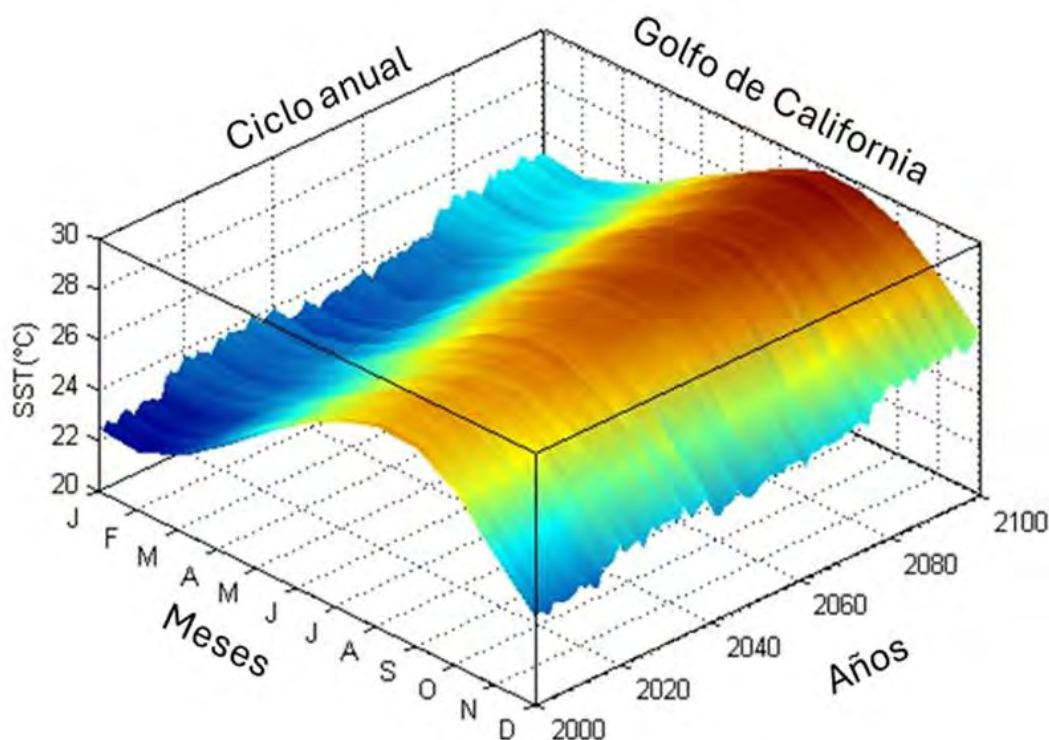


Figura 7. Diagrama evolutivo de las proyecciones presentes y futuras del ciclo anual (valores de promedio mensual climatológico) de la TSM representativos del Golfo de California durante un período de 100 años (2000 a 2100). Los datos corresponden a las salidas mensuales del modelo Japonés de Circulación Global de la Atmósfera (MIRI-AGCM), forzado con los escenarios A1B (moderados) de emisiones de gases de efecto invernadero publicados por el IPCC en 2007.

Dadas las proyecciones futuras del ciclo anual de la TSM en el GC, resulta necesario investigar las implicaciones ecológicas de estos cambios en el ambiente. Un enfoque prometedor sería la implementación de un modelo ecológico que permita simular y analizar cómo los cambios proyectados en la TSM impactarán directamente el ciclo biológico del camarón. Este modelo ecológico, idealmente, integraría diversos componentes como el ciclo de vida del camarón, caracterización del hábitat de las diferentes fases del ciclo de vida, las proyecciones de la TSM y la dinámica espaciotemporal de la distribución y abundancia del camarón. Este enfoque permitiría prever la evolución futura en espacio y tiempo del camarón en respuesta a los cambios proyectados en su entorno térmico, ofreciendo una base científica sólida para la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático en la pesca y la acuicultura de estos recursos en el GC.

Además de los incrementos en la TSM, el CC también está generando cambios en los patrones de precipitación en varias regiones, lo que provoca mayor frecuencia de inundaciones y sequías que probablemente son los impactos más significativos para la acuicultura. La reducción de las precipitaciones durante la estación seca y los cambios en la duración del periodo de crecimiento del camarón, tendrán implicaciones para la acuicultura, creando conflictos por el agua (Soto y



Quiñones, 2013), siendo los acuicultores pobres los más vulnerables. Estos cambios pueden alterar los periodos reproductivos, los ciclos de cultivo del camarón, además, las precipitaciones extremas suelen provocar descensos repentinos de salinidad provocando brotes de enfermedades (Chang et al., 2024).

Potenciales estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático

Desde 2014, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en conjunto con la Universidad de Sonora (DICTUS), el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) La Paz, el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Guasave, el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS), los Comités de Sanidad Acuícola de Sonora (COSAES) y Sinaloa (CESASIN), han realizado investigación dirigida a evaluar potenciales efectos del CC en la captura y el cultivo de los camarones peneidos en el GC.

Con este panorama en mente, es fundamental que la industria pesquera del GC utilice este conocimiento para que se implementen prácticas adaptativas y sostenibles. Asimismo, los programas educativos podrían ayudar a fomentar una cultura de responsabilidad y manejo sustentable entre las comunidades pesqueras. De igual manera, la instalación de sistemas de monitoreo de las condiciones ambientales, como la temperatura del agua y la calidad del agua, permite anticiparse o corroborar los valores estimados mediante proyecciones de modelos numéricos, y ajustar las prácticas de esta pesquería de manera proactiva. Esto es fundamental para garantizar la sostenibilidad dentro de un ecosistema que enfrenta cambios constantes (FAO, 2018).

En el área de acuicultura, se pueden implementar diversas estrategias de adaptación y mitigación en el GC, tales como programas de investigación para seleccionar y criar variedades de camarón (Figura 8) que sean más resistentes a enfermedades y que puedan tolerar variaciones en la temperatura y salinidad; esta mejora genética es crucial para garantizar la viabilidad del camarón en un clima cambiante (Perez-Enriquez *et al.*, 2024; Shi *et al.*, 2024). Por otro lado, implementar prácticas de cultivo sostenibles que reduzcan la huella ambiental es fundamental, por lo que capacitar acuicultores en buenas prácticas es esencial para mejorar la resiliencia de la industria frente a los desafíos climáticos.



Figura 8. Producción de larva de camarón en Sonora para el mejoramiento genético. Fotografías de Marco Porchas Cornejo.

Discusión académica

Es evidente la importancia de la actividad pesquera y acuícola en el noroeste de México, tanto por su contribución para garantizar la seguridad alimentaria nacional e internacional, como también por la derrama económica que genera para numerosas familias que dependen directa e indirectamente de estos rubros. Sin embargo, debido a lo complejo de estas actividades, también presentan varios desafíos de índole social, económico y ecológico, que se deben atender para mejorar las condiciones de las comunidades que dependen de ellas y los ecosistemas que las sustentan. En ese sentido, es de suma importancia realizar investigación orientada a identificar los potenciales efectos del CC sobre la pesca y acuicultura de camarón en el GC.

Para las poblaciones naturales, Cota-Durán *et al.* (2021) han modelado potenciales cambios en la distribución del camarón azul, café y blanco en el GC, asociados a modificaciones en el hábitat idóneo de cada una de estas especies tras aplicar diferentes escenarios de CC. Concluyeron que la distribución, en particular la del camarón azul y blanco se ampliará hacia el Pacífico de Baja California Sur, mientras que la distribución del camarón café y azul se verá afectada o será prácticamente nula frente a las costas de Nayarit. De tal manera que de acuerdo con estas



proyecciones algunas comunidades pesqueras (Golfo de Ulloa y Bahía Magdalena en B.C.S.) se verán beneficiadas mientras que otras se verán afectadas por estos potenciales cambios en la distribución. Adicionalmente, para el GC se ha documentado que la temperatura es un factor importante que regula la reproducción de peneidos, asimismo incide en la variación intra e interanual de hembras maduras, por lo que, bajo escenarios moderados de cambio climático, en el que se espera que la temperatura media supere los 26° C, las tasas de hembras maduras disminuyen considerablemente (Aranceta-Garza *et al.*, 2025).

Este tipo de información nos sirve de base para poder realizar la evaluación de ventanas ambientales óptimas de las diferentes fases del ciclo de vida de los camarones peneidos, de tal manera que la información biológica y fisiológica generada se pudiera integrar a modelos y éstos forzarlos con diferentes escenarios de CC, con el fin de predecir potenciales cambios en la temporalidad del ciclo de vida de estos organismos, así como también de algunos parámetro poblacionales como el crecimiento individual, la mortalidad, la talla de primera madurez, los patrones de reclutamiento, la abundancia y distribución.

Por su parte, algunos de los factores ambientales que podrían afectar considerablemente en el cultivo de camarón son los eventos climáticos extremos asociados al CC, como las ondas de calor, mayor frecuencia e intensidad de huracanes y cambios en los patrones de precipitación. Se ha debatido sobre la influencia del CC en eventos climáticos extremos, y aunque es difícil aislar sus efectos, algunos investigadores sugieren que el CC podría tener un impacto más significativo en la intensidad y severidad de estos eventos y menos en su frecuencia (Allison *et al.*, 2011). No obstante, parece que la intensificación de huracanes en el futuro no ha sido ampliamente estudiada en términos de efectos económicos sobre la actividad acuícola. Sin embargo, Hernández-Llamas y Zarain-Herzberg (2011) estudiaron cómo la frecuencia de huracanes afecta los beneficios económicos del cultivo de camarones en la costa noroeste de México. Mediante simulaciones, concluyeron que, aunque el impacto económico es notable, se puede mitigar parcialmente con estrategias de cosecha y ajustando los tiempos de cultivo. Aún queda determinar si huracanes más intensos en el futuro podrían afectar negativamente los retornos económicos (Reid *et al.*, 2019).

Otra de las consecuencias del CC que podría afectar al cultivo de camarón, es que, debido al incremento de la temperatura del agua, los camarones pueden ser más susceptibles a contraer enfermedades por patógenos. En el GC, se han detectado patógenos virales en el zooplancton silvestre cerca de granjas camaroneras, lo que representa un riesgo para el camarón de cultivo y las especies silvestres (Anaya-Rosas, 2005; Porchas-Cornejo *et al.*, 2018; Soto-Rodríguez *et al.*,

2015). Otra problemática en la producción acuícola del camarón es que pudiera enfrentarse a un déficit en el suministro de ingredientes para la elaboración de alimento balanceado, particularmente del aceite y harina de pescado que sabemos provienen principalmente de los subproductos de pesquerías como la de pelágicos menores, la que también se pronostica que tendrá afectaciones por el CC (Reid *et al.*, 2019). Es crucial definir los efectos del CC sobre los recursos naturales y el sector productivo para prever medidas de adaptación, las cuales deberán ser consideradas en el manejo y el cultivo del camarón a nivel regional e internacional.

Consideraciones finales y perspectivas

El impacto del CC en la pesca y la acuicultura de camarones peneidos en el GC, representa un desafío urgente y complejo. La evidencia señala que los efectos del calentamiento global, como el aumento en las temperaturas del agua, la acidificación oceánica, la mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos y las alteraciones en los patrones de precipitación, amenazan la sostenibilidad de estos sectores económicos y ecológicos fundamentales.

La modelación ecológica bajo escenarios de CC es una estrategia prometedora para anticipar y gestionar estos impactos. Sin embargo, todavía es necesario profundizar en estudios que relacionen directamente estos cambios ambientales con las dinámicas poblacionales y la economía local.

Asimismo, la intensificación de eventos extremos también puede aumentar la mortalidad, contagios de enfermedades y disminuir la productividad del sector, aunque algunos estudios sugieren que estos efectos pueden ser mitigados parcialmente mediante prácticas de manejo adaptativo, el cual se reconoce como una estrategia de gestión flexible que, mediante el monitoreo y el aprendizaje continuo, permite ajustar decisiones para enfrentar la incertidumbre ambiental, incluyendo los impactos del CC, y así, asegurar la sostenibilidad de los recursos. En ese sentido, México ha establecido zonas de refugio pesquero tanto en las costas del Pacífico mexicano, en el Golfo de California, como también en el Atlántico, con el objetivo no sólo de reducir la presión por pesca o contribuir a la seguridad alimentaria, sino también incrementar la resiliencia de las poblaciones (incluyendo las de camarones) ante el CC. Por su parte, en el año 2024, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) publicó el documento “Estado de avance de políticas y planes de adaptación al cambio climático en la acuicultura en América Latina y el Caribe”, donde se detallan



recomendaciones en diseño, implementación y seguimiento de las prácticas acuícolas dentro de un marco adaptativo con enfoque ecosistémico.

Dada la vulnerabilidad de las comunidades pesqueras y acuícolas, es fundamental fortalecer las capacidades de adaptación mediante investigación aplicada, innovación tecnológica y políticas públicas que promuevan la sostenibilidad. Finalmente, es importante que las futuras investigaciones integren enfoques multidisciplinarios que consideren las interacciones entre variables biológicas, ambientales y socioeconómicas. Solo a través de una gestión integral y colaborativa será posible reducir los riesgos asociados y garantizar la resiliencia del sector del camarón en el GC, asegurando la conservación de sus ecosistemas y el bienestar de las comunidades que dependen de él.

Agradecimientos

E.B. Farach-Espinoza agradece a SECIHTI por la beca de estancia posdoctoral académica (782724) en el CIBNOR S.C., unidad Guaymas. Los autores agradecen los fondos del Proyecto EP-CIBNOR.

Literatura citada

- Ahmed, N., S. Thompson y M. Glaser. 2019. Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental Management*. 2 (63): 159-172.
- Al-Masqari, Zaher A., H. Guo, R. Wang, H. Yan, P. Dong, G. Wang y D. Zhang. 2022. Effects of High Temperature on Water Quality, Growth Performance, Enzyme Activity and the Gut Bacterial Community of Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research* (00): 1-14.
- Allison, E.H., M. C. Badjeck, y K. Meinhold. 2011. The implications of global climate change for Molluscan aquaculture. pp. 461-483. En: S.E. Shumway (Ed.). *Shellfish aquaculture and the environment*. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 526 pp.
- Anaya Rosas, R.E. 2005. Cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, Boone (1931) en sistema cerrado a alta densidad. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Baja California, México. 64 pp.

- Aranceta-Garza, F., R. Saldívar-Lucio, F. Arreguín-Sánchez, F. Vergara-Solana. 2025. Climate effect on the seasonal gonad maturity of three commercial penaeid shrimp species in the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. (313): 109064.
- Arreguín-Sánchez, F., M.O. Albáñez-Lucero, P. Del Monte-Luna y M.J. Zetina-Rejón. 2019. Fishery Resource Management Challenges Facing Climate Change. pp. 181-194. En: Ibáñez, A.L. (Eds.) *Mexican Aquatic Environments*. Springer International Publishing. Switzerland. 284 pp.
- Arreguín-Sánchez, F., P. Del Monte-Luna, M.J. Zetina-Rejón, M.O. Albáñez-Lucero. 2017. The Gulf of California Large Marine Ecosystem: Fisheries and other natural resources. *Environmental development* (22): 71-77.
- Arreguín-Sánchez, F., P. Del Monte-Luna y M.J. Zetina-Rejón. 2015. Climate Change Effects on Aquatic Ecosystems and the Challenge for Fishery Management: Pink Shrimp of the Southern Gulf of Mexico. *Fisheries* 1 (40): 15–19.
- Benavides, I.F., J. Garcés-Vargas y J.J. Selvaraj. 2024. Potential Negative Impacts of Climate Change Outweigh Opportunities for the Colombian Pacific Ocean Shrimp Fishery. *Scientific Reports* 1 (14): 21903.
- Berlanga-Robles, C., G. Fernández, A. Ruiz-Luna, A. Cervantes-Escobar y F. Castellanos-Tapia. 2024. Landscape changes in a critical subtropical coastal wetland in northwestern Mexico: Is shrimp farming a driver of concern? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. (302): 108754.
- Brusca, R.C. y M.E. Hendrickx. 2010. Invertebrates biodiversity and conservation. En: Brusca, R.C. (Ed.) *The Gulf of California: biodiversity and conservation*. University of Arizona Press.
- Brusca, R.C. (Ed.). 2010. *The Gulf of California: biodiversity and conservation*. University of Arizona Press.
- Camacho-Ibar, V.F. y V.H. Rivera-Monroy. 2014. Coastal Lagoons and Estuaries in Mexico: Processes and Vulnerability. *Estuaries and Coasts*. (37): 1313–1318.
- Castro, R., M.F. Lavín, P. Ripa. 1994. Seasonal heat balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012). C2 (99): 3249–3261.
- Castro-Ortíz, J.L., D. Lluch-Belda, D. 2008. Impacts of interannual environmental on the shrimp fishery off the Gulf of California. *CalCOFI Reports*. (49): 183-190.
- Chang Y.T., W.T. Huang, P.L. Wu, R. Kumar, H.C. Wang y H.P. Lu. 2024. Low salinity stress increases the risk of *Vibrio parahaemolyticus* infection and gut microbiota dysbiosis in Pacific white shrimp. *BMC Microbiology*. (24): 275.



- Cisneros-Mata, M.A. 2010. The Importance of Fisheries in the Gulf of California and Ecosystem-Based Sustainable Co-Management for Conservation. pp. 119-134. En: Brusca, R. (Ed.). The Gulf of California: Biodiversity and Conservation. University of Arizona Press. Tucson, E.U.A. 300 pp.
- Cochrane, K.L., N.L. Andrew y A.M. Parma. 2011. Primary Fisheries Management: A Minimum Requirement for Provision of Sustainable Human Benefits in Small-Scale Fisheries: Primary Management of Small-Scale Fisheries. *Fish and Fisheries* 3 (12): 275–88.
- CONAPESCA. 2014. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Mazatlán, México. 301 pp.
- CONAPESCA. 2020. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Mazatlán, México. 287 pp.
- CONAPESCA. 2023. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Mazatlán, México. 276 pp.
- Cota-Durán, A., D. Petatán-Ramírez, M.A. Ojeda-Ruiz y E.A. Marín-Monroy. 2021. Potential Impacts of Climate Change on Shrimps Distribution of Commercial Importance in the Gulf of California. *Applied Sciences* 12 (11): 5506.
- Crooks, S. y R.K. Turner. 1999. Integrated Coastal Management: Sustaining Estuarine Natural Resources. pp. 241–279. En: Nedwell, D.B. y D.G. Raffaelli (Eds.). *Advances in Ecological Research Volume 29 Estuaries*. Academic Press. Londres, Inglaterra. 295 pp.
- Del Río-Salas, M., A. Martínez-Durazo y J.M. Martín-Enrique. 2016. La acuicultura y su impacto en la zona costera del Golfo de California. *Biotecnia*. 3(18): 37–46.
- Domínguez, W. y Tiburcio, G. 2021. Pesca artesanal en el Golfo de California: producción, conflictos socio ecológicos y riqueza biocultural (1940-2020). pp. 83-124. En: Domínguez y Cariño (Eds.). *Nuestro Mar Historia ambiental del golfo de California (siglos XVI-XXI) Volumen II: Extractivismo industrial y comercial del golfo de California (1830-2020)*. Comares. Albolote, Granada. 303 pp.
- FAO-Departamento de Pesca y Acuicultura. 2009. El Estado Mundial de la Pesca y Acuicultura-2008. Roma, Italia. 196 pp.
- FAO. 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma, Italia. 233 pp.
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, Italia. 223 pp.
- FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, Italia. 257 pp.

- García-Borbón, J.A., E.F. Balart, J.J. Gallo, P. Loreto-Campos. 1996. Pesquería de Camarón. pp. 187-206. En: V.M. Casas y Ponce-Díaz G. (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola del Baja California Sur Tomo I. SEMARNAP, Gobierno del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, Instituto Nacional de la Pesca y CETMAR. La Paz, B.C.S., México.
- Gasalla, M.A., P.R. Abdallah y D. Lemos. 2017. Potential impacts of climate change in Brazilian Marine fisheries and aquaculture. En: In: B.F. Phillips y M. Perez-Ramírez (Eds.). Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: a Global Analysis, vol. 1. John Wiley. 1048 pp.
- González-Rivas, D.A. y F.O. Tapia-Silva. 2023. Estimating the shrimp farm's production and their future growth prediction by remote sensing: Case study Gulf of California. *Frontiers in Marine Science* (10):1130125.
- Hernández-Llamas, A. y M. Zarain-Herzberg. 2011. Bioeconomic modeling and risk analysis of raising shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages in northwestern Mexico: Assessment of hurricane hazard, stochastic variability of shrimp and feed prices, and zootechnical parameters. *Aquaculture*. (314):261-268.
- Herrera-Cervantes H., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota y G. Gutiérrez-de-Velasco. 2007. The ENSO signature in the Gulf of California using sea surface temperature. *Journal of Marine Research*. (65): 589-605.
- Hopkins, J.S., C.I. Browdy, R.D. Hamilton y J.A. Heffernan. 1995. The effect of low-rate sand filtration coupled with careful feed management on effluent quality, pond water quality, and production of intensive shrimp ponds. *Estuaries*. (18):116-123.
- Instituto Nacional de Pesca. 2016. Evaluación y Manejo de la Pesquería de Camarón del Pacífico Mexicano [Archivo PDF]. https://fisheryprogress.org/sites/default/files/indicators-documents/INAPESCA%202016%20_0.pdf
- Kır, M., M.C. Sunar, M. Topuz y M. Saripek. 2023. Thermal Acclimation Capacity and Standard Metabolism of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) at Different Temperature and Salinity Combinations. *Journal of Thermal Biology*. (112):103429.
- Lenton, T.M., J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen y H.J. Schellnhuber. 2019. Climate tipping points—too risky to bet against. *Nature*. 7784 (575): 592-595.
- Lluch-Cota S.E., A. Parés-Sierra, V.O. Magaña-Rueda, F. Arreguín-Sánchez, G. Bazzino, H. Herrera-Cervantes y D. Lluch-Belda. 2010. Changing climate in the Gulf of California. *Progress in Oceanography*. (87): 114–126.



- Lluch-Cota, S.E., E.A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J.J. Bautista-Romero, R.C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortéz-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M.E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S.G. Marinone, M.O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M.E. Ramírez-Rodríguez, C.A. Salinas-Zavala, R.A. Schwartzlose, P.A. Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography* (73): 1–26.
- López-Martínez, J., S. Hernández-Vázquez, C.H. Rábago-Quiroz, E. Herrera-Valdivia, R. Morales-Azpetia. 2008. Efectos ecológicos de la pesca de arrastre de camarón en el Golfo de California. Estado del arte del desarrollo tecnológico de las artes de pesca. pp. 13-47. En: J. Santinelli (Ed.) *La situación del sector pesquero en México*. CEDRSSA. Cámara de Diputados. México, D.F.
- López-Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez, A.R. García-Juárez y W. Valenzuela-Quíñonez. 2003. Interannual Variation of Growth of the Brown Shrimp *Farfantepenaeus Californiensis* and Its Relation to Temperature. *Fisheries Research* 1-3 (61): 95–105.
- López-Martínez, J., E. Morales-Bojórquez, F. Paredes Mallón, D. Lluch-Belda y C. Cervantes Valle. 2001. La pesquería de camarón de altamar en Sonora. pp. 301-312. En: D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (Eds.). *Centros de Actividad Biológica (BACs) en el Noroeste de México*. CIBNOR-CICIMAR-CONACYT, La Paz, B.C.S., México.
- Macusi, E.D., N.A. Albarido, M.B. Clapano y M.D. Santos. 2022. Vulnerability Assessment of Pacific Whiteleg Shrimp (*Penaeus vannamei*) Farms and Vendors in Davao, Philippines Using FishVool. *Sustainability* 8 (14): 4541.
- Martínez-Durazo, A., J. García-Hernández, F. Páez-Osuna, M.F. Soto-Jiménez y M.E. Jara-Marini. 2019. The influence of anthropogenic organic matter and nutrient inputs on the food web structure in a coastal lagoon receiving agriculture and shrimp farming effluents. *Science of the Total Environment*. (664): 635–646.
- Martínez-Porchas, M. y L.R. Martínez-Córdova. 2012. World aquaculture: Environmental impacts and troubleshooting alternatives. *The Scientific World Journal*. (2012):389623.
- Meltzer, L., N.S. Blinick y A.B. Fleishman. 2012. Management Implications of the Biodiversity and Socio-Economic Impacts of Shrimp Trawler By-Catch in Bahía de Kino, Sonora, México. *PLoS ONE* 6 (7): e35609.

- Mizuta R., K. Oouchi, H. Koshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, H. Kawai y M. Nakagawa. 2006. 20-km-Mesh global climate simulations using JMA-GSM Model –mean climate states–. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. (84): 165-185.
- Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita y M. Kimoto. 2017. Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 7(98): 1383-1398.
- Muralisankar, T., P. Kalaivani, S.H. Thangal y P. Santhanam. 2021. Growth, Biochemical, Antioxidants, Metabolic Enzymes and Hemocytes Population of the Shrimp *Litopenaeus Vannamei* Exposed to Acidified Seawater. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology*. (239):108843.
- Munguía-Vega, A., S. Guido-Marinone, D.A. Paz-García, A. Girón-Nava, T. Plomozo-Lugo, O. Gonzalez-Cuellar, A. Hudson-Weaver, F.J. García-Rodríguez y H. Reyes-Bonilla. 2018. Anisotropic larval connectivity and metapopulation structure driven by directional oceanic currents in a marine fish targeted by small-scale fisheries. *Marine Biology*. (165):16.
- Naylor, R.L., R.W. Hardy, A.H. Buschmann, S.R. Bush, L. Cao, D.H. Klinger, D.C. Little, J. Lubchenco, S.E. Shumway y M. Troell. 2021. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. (591): 551–563.
- Páez-Osuna, F., S.R. Guerrero-Galván y A.C. Ruiz-Fernández. 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 1 (36): 65-75.
- Perez-Enriquez, R., O.E. Juárez, P. Galindo-Torres, A.L. Vargas-Aguilar y R. Llera-Herrera. 2024. Improved genome assembly of the whiteleg shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* using long-and short-read sequences from public databases. *Journal of Heredity*. 115 (3): 302-310.
- Porchas-Cornejo, M.A., P. Álvarez-Ruiz, F.J. Álvarez-Tello, M. Porchas-Martínez, L.R. Martínez-Córdova, J. López-Martínez y R. García-Morales. 2018. Detection of the white spot syndrome virus in zooplankton samples collected off the coast of Sonora, Mexico. *Aquaculture Research*. 1 (49) :48–56.



- Ramaglia, A.C., C. Do V. Trotta, J. Rodrigues da Costa, E. Pereira Borges, A.C. Louzã, M.R. dos Santos y A. Augusto. 2024. Energy Budget as a Tool to Assess the Effects of Environmental Stressors: A Study on Whiteleg Shrimp (*Penaeus Vannamei*) Exposed to Variations in Salinity and Ocean Acidification. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 4–6 (57): 57–76.
- Reid, G.K., H.J. Gurney-Smith, D.J. Marcogliese, D. Knowler, T. Benfey, A.F. Garber, I. Forster, T. Chopin, K. Brewer-Dalton, R.D. Moccia, M. Flaherty, C.T. Smith y S. De Silva. 2019. Climate change and aquaculture: considering biological response and resources. *Aquaculture Environment Interactions*. (11): 569–602.
- Robles-Tamayo, C.M., R. García-Morales, J.E. Valdez-Olguín, G. Figueroa-Preciado, H. Herrera-Cervantes, J. López-Martínez, L.F. Enríquez-Ocaña. 2020. Chlorophyll a Concentration Distribution on the Mainland Coast of the Gulf of California, Mexico. *Remote Sensing*. 8 (12): 1335.
- Sampantamit, T., L. Ho, C. Lachat, N. Sutummawong, P. Sorgeloos y P. Goethals. 2020. Aquaculture Production and its Environmental Sustainability in Thailand: Challenges and Potential Solutions. *Sustainability*. 5 (12): 2010.
- Sáenz-Arroyo, A., C.M. Roberts, J. Torre, M. Cariño-Olvera y J.P. Hawkins. 2006. The Value of Evidence about Past Abundance: Marine Fauna of the Gulf of California through the Eyes of 16th to 19th Century Travellers. *Fish and Fisheries*. 3 (7): 128–146.
- Santamaría-del-Ángel, E., R. Millán-Núñez, A. González-Silvera, M. Callejas-Jiménez, R. Cajal-Medrano y M.S. Galindo-Bect. 2011. The Response of Shrimp Fisheries to Climate Variability off Baja California, México. *ICES Journal of Marine Science*. 4 (68): 766–772.
- Shi, M., S. Jiang, J. Shi, Q. Yang, J. Huang, Y. Li, L. Yang y F. Zhou. 2024. Evaluation of Genetic Parameters and Comparison of Stress Tolerance Traits in Different Strains of *Litopenaeus vannamei*. *Animals*. 14 (4): 600.
- Soto, D. y R. Quiñones. 2013. Cambio Climático, Pesca Y Acuicultura En América Latina Potenciales Impactos Y Desafíos Para La Adaptación. FAO. Roma, Italia. 335 pp.
- Soto-Rodríguez, S.A., B. Gómez-Gil, R. Lozano-Olvera, M. Betancourt-Lozano, M.S. Morales-Covarrubias. 2015. Field and Experimental Evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the Causative Agent of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease of Cultured Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Northwestern Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*. 5 (81): 1689–1699.
- Spanopoulos-Hernández, M., C.A. Martínez-Palacios, R.C. Vanegas-Pérez, C. Rosas y L. G. Ross. 2005. The Combined Effects of Salinity and Temperature on the Oxygen Consumption of Juvenile Shrimps *Litopenaeus Stylirostris* (Stimpson, 1874). *Aquaculture*. 1–4 (244): 341–348.

- Topuz, M. y M. Kir. 2023. Critical Temperatures and Aerobic Metabolism in Post-Larvae of Pacific White Shrimp *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931). *Journal of Comparative Physiology B*. 6 (193): 607–614.
- Villarreal, H. y A. Hernandez-Llamas. 2005. Influence of Temperature on Larval Development of Pacific Brown Shrimp *Farfantepenaeus californiensis*. *Aquaculture*. 1–4 (249): 257–263.
- Weerathunga, V., W.J. Huang, S. Dupont, H.H. Hsieh, N. Piyawardhana, F.L. Yuan, J.S. Liao, C.Y. Lai, W.M. Chen y C.C. Hung. 2021. Impacts of pH on the Fitness and Immune System of Pacific White Shrimp. *Frontiers in Marine Science*. (8): 748837.
- Weerathunga, V., C.C. Hung, S. Dupont, H.H. Hsieh, N. Piyawardhana, F.L. Yuan, K.J. Kao, K.C. Huang y W.J. Huang. 2023. Ocean acidification increases inorganic carbon over organic carbon in shrimp's exoskeleton. *Marine Pollution Bulletin*. (192): 115050.
- Xie, S.P. 2020. *Ocean Warming Pattern Effect On Global And Regional Climate Change*. AGU Advances. 1 (1): e2019AV000130.
- Xie, S.P., C. Deser, G.A. Vecchi, J. Ma, H. Teng y A.T. Wittenberg. 2010. Global Warming Pattern Formation: Sea Surface Temperature and Rainfall. *Journal of Climate*. 4 (23): 966–86

Cita

Farach-Espinoza, E. B., J. López-Martínez, H. Herrera-Cervantes, R. García-Morales, C. H. Rábago-Quiroz, E. Larios-Castro y M. A. Porchas-Cornejo. La pesquería y cultivo del camarón en el Golfo de California ante el cambio climático. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2025. Vol. 11 (2): 280-304.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0017>

Sometido: 17 de junio de 2025

Aceptado: 1 de septiembre de 2025

Editor asociado: Dr. Gastón Bazzino Ferreri

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Opportunities for the recovery and conversion
of fish by-products into value-added products

Oportunidades para el rescate y la conversión de subproductos de la pesca en productos de valor

Liliana Rojo Arreola^{1*}

Resumen

La pesca y la acuicultura generan una cantidad significativa de subproductos durante su procesamiento, los cuales suelen ser descartados a pesar de su alto contenido nutricional y funcional. Este manuscrito analiza el volumen, composición y destino de los residuos sólidos pesqueros, con énfasis en especies de escama. Se describen algunos procesos para su aprovechamiento, desde escalas artesanales hasta industriales, enfocadas en la obtención de biofertilizantes, proteínas, hidrolizados, enzimas, colágeno, aceites, harinas y biocombustibles. Se identifican cuellos de botella clave como el acopio y la falta de infraestructura, y se proponen estrategias viables para su valorización. En este documento se destaca el potencial de los subproductos como recurso bioeconómico, ambientalmente sostenible y de alto valor para sectores agroalimentarios, farmacéuticos y energéticos.

Palabras clave: subproductos pesqueros, valorización, bioproductos.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195,
Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: lrojo@cibnor.mx

Abstract

Fishing and aquaculture generate a significant volume of by-products during processing, which are often discarded despite their high nutritional and functional content. This manuscript analyzes the volume, composition, and fate of solid fish waste, with a particular focus on finfish species. It presents some processes for their recovery and utilization from artisanal to industrial scales, aimed at producing biofertilizers, proteins, hydrolysates, enzymes, collagen, oils, fishmeal, and biofuels. Key bottlenecks such as waste collection and lack of infrastructure are identified, and viable strategies for their valorization are proposed. This document highlights the potential of these by-products as high-value, environmentally sustainable bioeconomic resources for the agri-food, pharmaceutical, and energy sectors.

Key words: Fish by-products, waste valorization, bioproducts.

Antecedentes

La industria de productos del mar, tanto de procedencia pesquera como acuícola, es imprescindible en el sector alimentario mundial. Los pescados y mariscos son reconocidos por su alto valor nutricional al aportar cantidades significativas de micro y macronutrientes esenciales para una dieta saludable. Además, desempeñan un papel crucial en la seguridad alimentaria global, y sostiene millones de empleos (FAO 2024). Sin embargo, esta actividad genera altos volúmenes de subproductos, pues, de acuerdo con estimaciones mundiales, entre el 30 y 70% del volumen de los productos marinos capturados o producidos para consumo humano corresponde a cabezas, vísceras, espinas, pieles, exoesqueletos, etc. (Figura 1A), los cuales son considerados subproductos que rara vez se aprovechan y que en su mayoría son descartados durante el procesamiento previo a la comercialización (FAO, 2024).

En México, se producen anualmente más de 2 millones de toneladas de productos pesqueros y acuícolas, el 84% de dicha producción proviene de la pesca (CONAPESCA, 2024). La mayor parte de la producción pesquera mexicana (83%) se procesa en plantas especializadas, el 28% de este volumen es convertido en harinas o aceites, para lo cual generalmente se utiliza el pescado entero (FAO, 2024). El resto, se congela, enlata, o se ofrece fresco, generando durante el proceso

subproductos como cabezas, vísceras, pieles, etc., que anualmente pueden representar más de 400,000 toneladas (Figura 1B); para dimensionar, con dicho volumen se podría llenar el Estadio Azteca. Este desecho sólido puede convertirse en un riesgo ambiental y sanitario, pero también, en productos de alto valor, una oportunidad actualmente desaprovechada principalmente por desconocimiento, pero también por el gran reto que representa (Alonso *et al.*, 2010).

En Baja California Sur la pesca es una de las principales actividades económicas, con 13,902 personas que se dedican directamente a esta, ocupando el 4º lugar nacional por volumen extraído, el cual en 2024 alcanzó las 204,271 toneladas (CONAPESCA, 2024). La mayor parte de la producción pesquera (60%) es procesada en alguna de las 33 plantas industriales activas en BCS (SEPADA, 2015), las cuales cuentan con infraestructura para congelación, enlatado, reducción y otros procesos, con una capacidad instalada de 127 toneladas por hora (SEPADA, 2021). Aun considerando que cerca del 14% del pescado capturado es utilizado entero para ser convertido en harinas y aceites; se calcula un acumulado anual de 70,000 toneladas de subproductos sólidos como cabezas, vísceras y escamas (Fig. 1B) que generalmente son desechados durante el procesamiento de pescados y mariscos en nuestro estado. Entre las prácticas para el desecho más comunes están el confinamiento en rellenos sanitarios, el vertido en el mar e incluso el abandono. Esto genera impactos negativos en el ambiente e incluso en la salud humana, y significa también un desaprovechamiento de compuestos de alto valor.

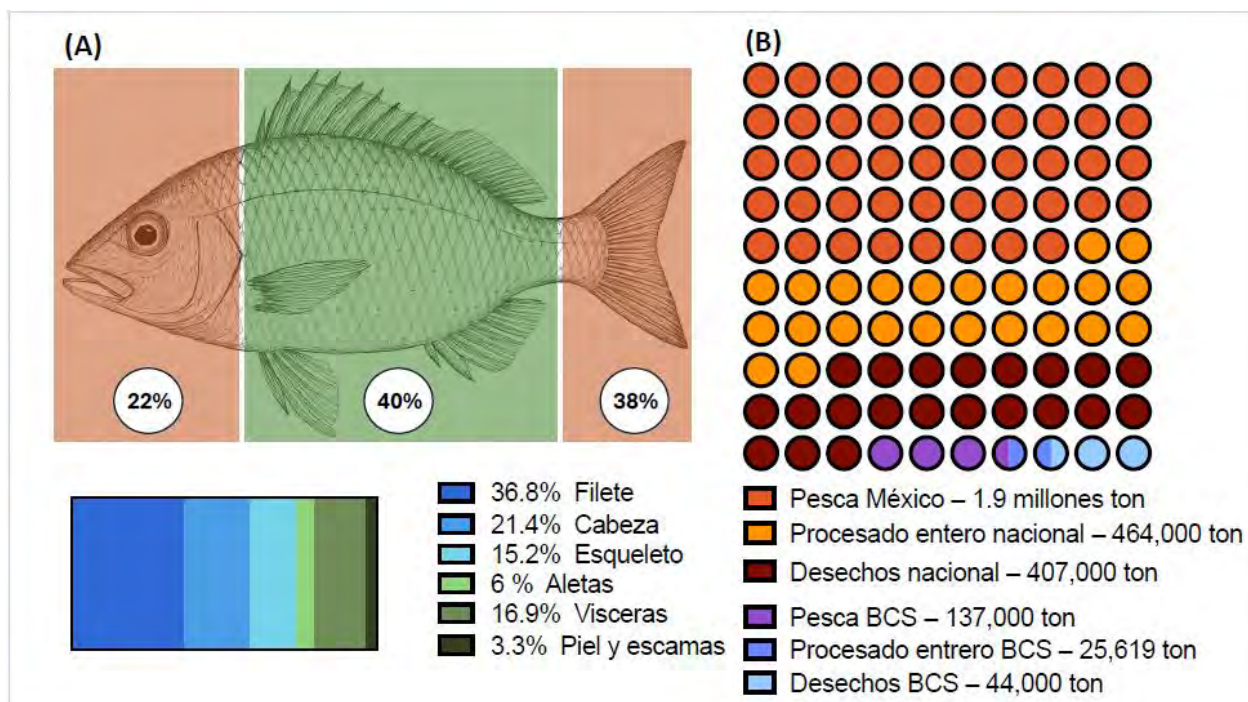


Figura 1. Composición y volumen de los subproductos pesqueros generados en México y Baja California Sur. La figura muestra (A) la distribución porcentual estimada de los componentes del pescado tras su procesamiento, destacando que solo el 36.8 % corresponde a filete, mientras que el 63.2 % restante está compuesto por subproductos como cabeza (21.4 %), vísceras (16.9 %), esqueleto (15.2 %), aletas (6 %) y piel con escamas (3.3 %). En (B), se presenta el volumen total de pesca, uso de pescado entero para obtención de harinas y el cálculo de desechos generados en México y Baja California Sur de acuerdo con el reporte CONAPESCA 2024. A nivel nacional, se capturaron más de 2 millones de toneladas, de las cuales 522,087 toneladas se convirtieron en harinas utilizando pescados enteros; se calcula que 480,892 toneladas se descartaron como residuos sólidos. En BCS, se capturaron 204,271 toneladas en 2024, de las cuales se convirtieron en harina 29,002 toneladas y se calcula que 70,108 toneladas corresponden a subproductos descartados, evidenciando una oportunidad significativa para su aprovechamiento.

En el presente trabajo se presenta un análisis de la conformación general de los sub-productos de pesca en México y BCS, con un enfoque especial en especies de escama ya que conforman la mayor proporción del volumen (Figura 2) y cuyos subproductos sólidos están conformados principalmente por esqueleto, vísceras, cabezas, escamas y piel. Se exponen también propuestas accesibles al contexto local para su rescate y transformación en productos con valor comercial como una estrategia de valorización de los recursos marinos en nuestro estado y otras localidades con esquemas similares. Las alternativas aquí expuestas tendrían también un impacto ambiental positivo, al aminorar la presión extractiva que ejercen algunas actividades pesqueras.

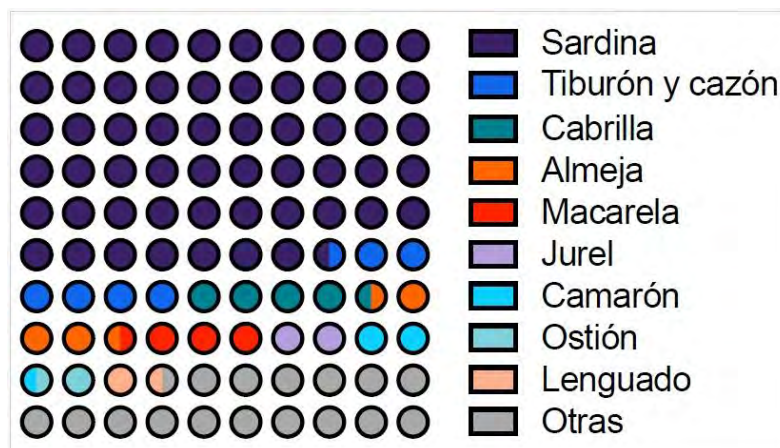


Figura 2. Principales especies capturadas y procesadas en Baja California Sur, ordenadas por volumen. Destacan la sardina y la macarela como las principales especies extraídas. Esta distribución es relevante para identificar qué subproductos son más abundantes y, por lo tanto, cuáles tienen mayor potencial de valorización, especialmente en el caso de especies de escama, cuyos residuos sólidos (cabeza, piel, vísceras, espinas) son técnicamente aprovechables para la obtención de compuestos de alto valor.

El desperdicio nutricional en los desechos pesqueros

Lejos de ser inertes o inútiles, los desechos sólidos o subproductos del procesamiento de pescados y mariscos contienen altas concentraciones de nutrientes esenciales y otras moléculas de valor, entre ellos: proteínas y aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (PUFAs), carotenoides, vitaminas, minerales, quitina y enzimas (Mutalipassi *et al.*, 2021) (Figura 3).

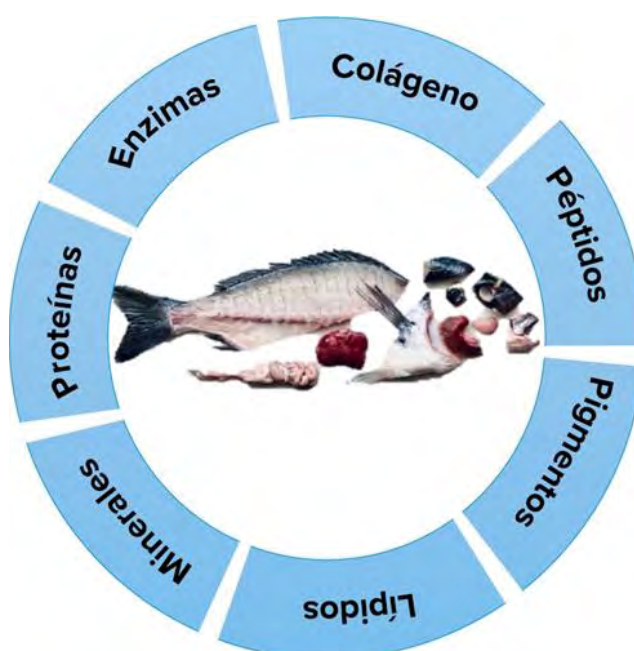


Figura 3. Principales nutrientes y moléculas encontradas en los subproductos de la pesca y acuicultura.

El desecho sistemático de estos recursos no solo representa una pérdida económica y ecológica, sino también un desperdicio importante de nutrientes y otras moléculas que podrían ser extraídas y reutilizadas como ingredientes nutraceuticos o aditivos funcionales en las industrias alimentaria, agrícola, farmacéutica y cosmética; todos con un alto valor en el mercado. Además, algunos de estos residuos ofrecen potencial para la producción de biocombustibles, abriendo nuevas rutas hacia una economía más circular y sustentable (Figura 4).



Figura 4. Ruta general para la valorización de subproductos pesqueros. Esquema del flujo general para el aprovechamiento de residuos pesqueros desde su origen hasta su transformación en productos de valor. El proceso inicia con la limpieza y separación de los subproductos en puntos como pescaderías y mercados, seguido de la colecta y su envío a unidades de procesamiento. A partir de ahí, se pueden generar diversos productos: fertilizantes, biogás, proteínas e hidrolizados, aceite, colágeno, enzimas y harinas, cada una con un proceso específico. Esta ruta ilustra las múltiples salidas posibles desde una materia prima común, y destaca el potencial de integrar ciertos procesos en modelos circulares y escalables adaptados al contexto local.

Es posible extraer compuestos de valor a partir de subproductos de pescado a diferentes escalas, desde artesanal hasta industrial (Figura 5). La elección del método más adecuado depende de múltiples factores, como la naturaleza del residuo, la capacidad de procesamiento y el uso final del producto. Actualmente existen tecnologías con alto nivel de desarrollo para extraer compuestos de valor a partir de residuos de pescado, entre las que se incluyen procesos mecánicos, químicos y térmicos (Figura 5). Estos han sido fundamentales para el desarrollo inicial de productos derivados como harinas, aceites y colágeno. No obstante, algunos métodos son mejorables en términos de eficiencia, selectividad y sostenibilidad ambiental. Tanto la academia como la industria han

intensificado sus esfuerzos para desarrollar y adoptar alternativas más innovadoras, limpias y responsables con el ambiente, con el fin de optimizar el aprovechamiento de los subproductos pesqueros (Khawli *et al.*, 2019; Kaanane y Mkaem, 2020; Chavan *et al.*, 2022).

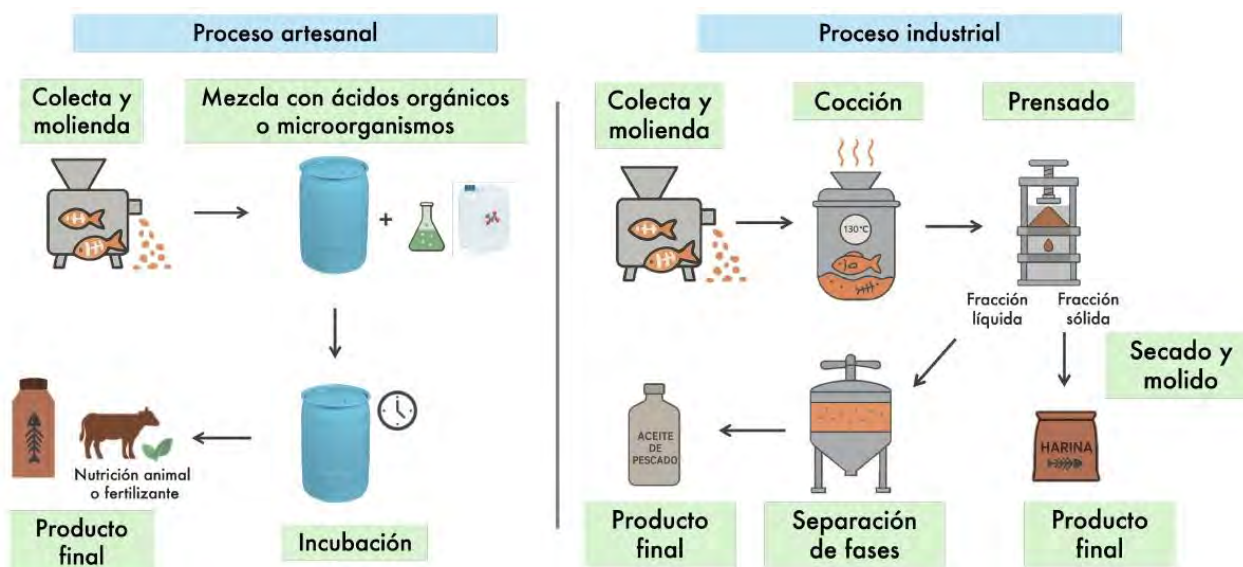


Figura 5. Ejemplos de procesos artesanales y semi-industriales para la valorización de residuos de la pesca. A nivel artesanal se muestra el proceso de ensilaje, obteniendo un producto nutritivo que puede ser usado para alimentación animal o como fertilizante. A nivel semi-industrial, se muestra el proceso de obtención de harina y aceite de pescado.

Los biofertilizantes, nutrientes del mar para el campo

Los desechos de pescado (especialmente vísceras, cabezas, y espinas) constituyen una fuente rica en nitrógeno, fósforo, potasio, aminoácidos y micronutrientes esenciales para la agricultura (Devi *et al.*, 2024). A través de procesos relativamente simples como la fermentación aeróbica o anaeróbica, la hidrólisis enzimática o el compostaje controlado, estos residuos pueden transformarse en biofertilizantes líquidos o sólidos (Ahuja *et al.*, 2020). Estos insumos no solo mejoran la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, sino que además estimulan la microbiota benéfica del suelo, fortalecen la resiliencia de los cultivos y contribuyen a prácticas agrícolas regenerativas. Su uso reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos. Aunque el mercado global de biofertilizantes aún está en expansión, en México y América Latina hay una creciente demanda por insumos orgánicos certificados, especialmente en cultivos de exportación, agroecología y sistemas de transición (CEPAL, FAO, IICA, 2012). Esto posiciona a los biofertilizantes de origen marino como una alternativa rentable, de bajo costo e impacto ambiental positivo, ideal para su implementación en contextos rurales o de cooperativas pesqueras, para lo cual existen manuales detallados (Toppe y Olsen, 2024).

Las proteínas e hidrolizados, fuente de aminoácidos esenciales

Entre los posibles de productos obtenidos del procesamiento de pescado, las proteínas y sus derivados destacan como un producto con alto valor nutricional, rico en aminoácidos esenciales (Zatta Cassol *et al.*, 2025), apto para el consumo humano y animal. Existen diversos métodos de producción que permiten obtener proteínas e hidrolizados como ingrediente funcional versátil, con características nutricionales, tecnológicas y sensoriales favorables (Sasidharan y Venugopal, 2020). Su facilidad de elaboración y capacidad para integrarse en alimentos convencionales lo convierten en una alternativa atractiva para el enriquecimiento proteico de otros alimentos.

Los extractos proteicos se obtienen mediante procesos que permiten solubilizar y recuperar las proteínas presentes en subproductos como vísceras, cabezas, pieles, espinas y restos de músculo. Entre las técnicas más utilizadas destacan los métodos químicos, como la hidrólisis y solubilización en ácidos o álcalis, y técnicas de extracción con soluciones salinas. Una vez solubilizadas, las proteínas se separan mediante filtración o centrifugación, y el extracto puede concentrarse y secarse para su posterior uso en formulaciones alimentarias, nutrición animal, biofertilizantes o ingredientes funcionales. La elección del método depende del tipo de residuo, del perfil proteico deseado y del uso final del producto.

Estos concentrados de proteínas se comercializan en diferentes presentaciones, según su uso final y grado de procesamiento. En el sector agrícola, es común encontrarlos como líquidos concentrados o crudos, utilizados como fertilizantes orgánicos o bioestimulantes, aunque requieren condiciones adecuadas de conservación por su limitada estabilidad. Para aplicaciones de mayor valor, como alimentos funcionales, nutrición deportiva o cosmética, se presentan en forma de polvos obtenidos generalmente por secado por aspersión, lo que facilita su manejo, transporte y vida útil. Asimismo, algunos extractos se ofrecen como pastas concentradas para usos industriales o se integran directamente en productos compuestos, como piensos, harinas enriquecidas o fertilizantes granulados. La elección de la presentación depende del mercado objetivo, los requerimientos regulatorios y las condiciones logísticas de almacenamiento y distribución.

Por otro lado, los hidrolizados de proteínas (es decir fragmentos de proteínas) se obtienen generalmente con ayuda de enzimas, moléculas que degradan a las proteínas bajo condiciones controladas de pH y temperatura, conteniendo compuestos funcionales de alto valor agregado (Sasidharan y Venugopal 2020). Los hidrolizados de proteínas suelen ser tener una mayor

biodisponibilidad al ser digeridos más eficientemente. A partir de la hidrólisis de proteína, también es posible obtener péptidos (cadenas cortas de amino ácidos), se sabe que algunos péptidos obtenidos de subproductos de pescado pueden tener características bioactivas como antioxidantes, antiinflamatoria, antimicrobianas, etc. (Cheung *et al.*, 2015), aunque su obtención, caracterización y enriquecimiento requiere generalmente de tecnologías con alto grado de sofisticación.

El colágeno, una proteína abundante en desechos de pesca

Algunos desechos de la pesca, en especial pieles, escamas y espinas, son tejidos ricos en colágeno, una proteína de gran valor en diversas aplicaciones (Rajabimashhadi y 2023). Mediante procesos de extracción y purificación ya estandarizados, el colágeno puede ser recuperado y utilizado en industrias como la cosmética, alimentaria, biomédica, farmacéutica, nutraceútica e incluso en bioplásticos (Silva *et al.*, 2014). La recuperación de colágeno y desarrollo de sus aplicaciones industriales no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también agrega valor económico a los subproductos de la pesca, fomentando una economía circular y sostenible a diferentes niveles, desde artesanal hasta industrial.

Las enzimas, un tesoro escondido en los desechos

Las enzimas, que también son proteínas, son responsables de prácticamente todas las reacciones químicas que sustentan la vida (Cornish-Bowden 2014). Estas moléculas tienen una enorme relevancia industrial y un alto valor comercial, especialmente por su capacidad para catalizar procesos de manera específica y eficiente (Fasim *et al.*, 2021). Actualmente, la mayoría de las enzimas disponibles en el mercado provienen de bacterias y levaduras. Sin embargo, numerosas investigaciones han documentado la presencia de enzimas funcionales en diversas especies marinas explotadas comercialmente, tanto en pesca como en acuicultura (Rossano *et al.*, 2011; Salazar-Leyva *et al.*, 2013; Sabtecha *et al.*, 2014; Perera *et al.*, 2020; Rojo-Arreola *et al.*, 2023). Dichas enzimas suelen presentar propiedades catalíticas únicas, al estar adaptadas a condiciones propias de ambientes marinos. Estas características les confieren un alto potencial para su aplicación en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, agrícola y ambiental. A pesar de ello, no existen esfuerzos sistemáticos para su recuperación a partir de los subproductos pesqueros.

Esto representa una oportunidad desaprovechada, ya que muchos de los tejidos descartados en los residuos sólidos del pescado (como estómagos, páncreas e intestinos) son precisamente los órganos donde se sintetizan enzimas digestivas, y por lo tanto constituyen una fuente viable para su extracción (Coppola *et al.*, 2021; Khiari, 2024). La recuperación de estas enzimas no solo es técnicamente factible, sino que permitiría valorizar fracciones actualmente subutilizadas del recurso.

Aceites y harinas: oportunidades sustentables para su producción

El proceso para producción de harinas y aceites de pescado requiere varios pasos para separar sus componentes sólidos, grasas y acuosos (Figura 5). Primero, el pescado se tritura para reducir el tamaño de partícula, en la segunda fase se somete a cocción a altas temperaturas (cerca de 130 °C) para liberar de los tejidos el agua y el aceite, así como coagular las proteínas presentes. Después, la masa cocida se somete a prensado, obteniéndose dos fracciones: una fase sólida que contiene entre el 60 y 80 % de la materia compuesta de proteínas y huesos, y una fase líquida compuesta por agua, aceite, proteínas solubles, vitaminas y minerales. Las partículas presentes en esta fase líquida se eliminan mediante centrifugación en decantador, y posteriormente el aceite se separa por centrifugación adicional. El agua restante, conocida como “agua de cola”, se concentra en evaporadores se reincorpora a la fracción sólida. Finalmente, la fracción sólida es deshidratada, molida y almacenada en sacos o a granel. El aceite recuperado se almacena en tanques, listo para su comercialización o refinamiento posterior (FAO, 1986).

Las harinas y aceites de pescado son utilizados casi en su totalidad para consumo animal, particularmente destinado para especies cultivadas, una práctica controversial dado su alto impacto ambiental, económico y social (Majluf *et al.*, 2024). En México operan 11 fábricas de harina y aceite (Shea *et al.*, 2025), donde se procesan 522,087 toneladas de pescado (CONAPESCA, 2024). Históricamente, a nivel nacional, BCS figura en el tercer o cuarto productor de harinas y aceite de pescado, en el estado se procesan 29,002 toneladas principalmente de sardina y macarela, a partir de las cuales en 2024 se produjeron 15,202 toneladas de estos productos (CONAPESCA, 2024) (Figura 1).

En las fábricas mexicanas, las harinas y aceites de pescado son producidos a partir de pescado completo extraído para tal fin; esta práctica representa un rezago en la tendencia mundial, pues globalmente hay un incremento significativo en la utilización de subproductos de la pesca y

acuacultura para este propósito, pues el 34% de la harina de pescado y el 53% del aceite de pescado producidos globalmente provienen de subproductos de la pesca (FAO, 2024), mientras que en México el porcentaje es solo del 0.01% (CONAPESCA, 2024). Teniendo en BCS la infraestructura y capacidad operativa, existe una oportunidad estratégica para transitar hacia modelos de producción más sostenibles, en los que se incentive el uso de subproductos pesqueros (como cabezas, vísceras, recortes y pescado de bajo valor comercial) en lugar de pescado entero. Esta transición permitiría reducir la presión sobre los recursos marinos y la carga ambiental asociada al descarte de biomasa rica en nutrientes, aprovechando la biomasa actualmente subutilizada y alinearse con las buenas prácticas internacionales, sin comprometer la productividad del sector.

Biocombustibles, el potencial energético a partir de residuos pesqueros

Los subproductos sólidos de pescado son insumos viables para la generación de biocombustibles, como biogás y biodiésel (Venugopal, 2021). La generación de biogas se realiza mediante digestión anaerobia, obteniéndose una mezcla de metano y dióxido de carbono útil para generación de calor, electricidad o combustible vehicular (Cadavid-Rodríguez *et al.*, 2019). A escala artesanal, esta práctica puede implementarse con biodigestores de bajo costo (como tanques plásticos adaptados o sistemas tipo domo) que permiten procesar los residuos frescos generados en comunidades costeras con acceso limitado a servicios energéticos (Cadavid-Rodríguez *et al.*, 2019).

En un modelo semiindustrial, se utilizan biodigestores más sofisticados con control de temperatura, agitación y carga continua, los cuales son capaces de procesar entre 1 y 5 toneladas diarias de residuos. Esto permite generar biogás suficiente para cubrir parte de las necesidades energéticas de una planta pesquera, o para integrarse a redes locales de calor o electricidad (Bücker *et al.*, 2020). El principal reto en todos los niveles es la estabilización de la carga orgánica, la reducción de contenido lipídico excesivo (que puede inhibir el proceso microbiano) y el cumplimiento de normas sanitarias. Sin embargo, cuando se optimiza el proceso, el digestato remanente puede incluso utilizarse como fertilizante, añadiendo valor adicional.

Por otro lado, el aceite de pescado, especialmente el que proviene de subproductos no aptos para uso alimentario, puede transformarse en biodiésel mediante un proceso de transesterificación, en el cual los triglicéridos se convierten en ésteres metílicos (FAME, siglas en inglés) utilizando un alcohol (generalmente metanol) y un catalizador (como hidróxido de sodio o potasio) (Jaiswal *et al.*, 2024). A nivel artesanal, la producción de biodiésel puede lograrse con equipos básicos en laboratorios

comunitarios o centros de innovación rural, permitiendo abastecer de combustible a pequeñas embarcaciones o vehículos locales.

Aprovechar estas rutas, especialmente en contextos donde ya existen plantas procesadoras o cadenas de frío, puede representar una estrategia eficiente de valorización energética y un paso relevante hacia sistemas pesqueros más sostenibles y circulares.

Discusión

Los productos derivados de los residuos de pescado (como harinas, aceites, hidrolizados, péptidos bioactivos, colágeno, quitina, fertilizantes y bioestimulantes) pueden obtenerse en distintos niveles de escala: artesanal, semiindustrial e industrial. La escala de producción depende de diversos factores, entre ellos el tipo y volumen de materia prima disponible, el grado de valorización deseado, los requisitos de calidad del mercado objetivo y la capacidad tecnológica instalada. A nivel artesanal, predominan procesos simples como la cocción, prensado, fermentación o compostaje, adecuados para producir fertilizantes líquidos, harinas de bajo procesamiento o aceites crudos, generalmente destinados a consumo local o agrícola (Figura 5). En el ámbito semiindustrial, se incorporan tecnologías intermedias como digestores, separadores centrífugos o sistemas de filtración, lo que permite obtener productos más estables y estandarizados, como hidrolizados proteicos, harinas funcionales o aceites parcialmente refinados (Figura 5). En la escala industrial, se implementan procesos más sofisticados (como hidrólisis enzimática controlada, ultrafiltración, secado por aspersión, extracción con CO₂ supercrítico o purificación molecular) que permiten obtener ingredientes de alto valor añadido y con calidad apta para los sectores nutracéutico, cosmético, farmacéutico o alimentario humano. La elección del nivel de procesamiento está determinada por el volumen inicial de materia prima disponible, destino final del producto, las exigencias regulatorias, el acceso a infraestructura y la viabilidad económica del modelo productivo.

Los retos y alternativas

Es verdad que la gestión y el aprovechamiento de subproductos de pescado representa un desafío considerable; por su alto contenido de agua y carga microbiana son propensos a generar olores desagradables cuando no se gestionan adecuadamente (Jayathilakan *et al.*, 2012). Afortunadamente, existe una tendencia global para el aprovechamiento de esta materia prima, lo

que ha provocado auge en las propuestas de investigación relacionadas con el desarrollo de tecnologías para la extracción de compuestos, con un enfoque especial en procesos sustentables, aminorando paulatinamente la brecha entre los conocimientos generados por la investigación y su implementación a diferentes escalas.

Por otro lado, el acopio de residuos pesqueros constituye uno de los principales cuellos de botella para su aprovechamiento. La naturaleza altamente perecedera de estos materiales, su dispersión geográfica y la falta de infraestructura adecuada dificultan su recolección oportuna y segura. En muchos casos, los residuos se generan en volúmenes pequeños y en sitios aislados, lo que encarece su transporte y limita su integración en cadenas de valor. Además, la ausencia de sistemas formales de acopio y separación complica el control de calidad y trazabilidad, factores clave para procesos de transformación con valor agregado. Superar este reto requiere modelos logísticos flexibles, incentivos para la recolección y alianzas entre actores del sector pesquero, logístico e industrial.

Una alternativa viable para ciudades costeras donde se desembarca, procesa o se consume una cantidad considerable de pescado consiste en el establecimiento de sistemas de recolección en mercados municipales, pescaderías y centros de acopio de productos pesqueros, desde donde los residuos orgánicos puedan ser canalizados de forma sistemática hacia plantas de procesamiento o unidades de valorización cercanas. Esta estrategia permitiría centralizar volúmenes pequeños a medianos en puntos nodales urbanos o periurbanos, reducir costos de transporte, facilitar la trazabilidad y asegurar condiciones óptimas de conservación. Además, podría generar empleos locales y fomentar la cultura del aprovechamiento en la cadena de valor pesquera y acuícola. Es pertinente mencionar que, para cada caso, se requieren análisis minuciosos para establecer la viabilidad técnica, económica y comercial de los procesos que involucran el rescate y conversión de los subproductos sólidos de la pesca y acuicultura.

Literatura citada

- Ahuja, I., E. Dauksas, J. F. Remme, R. Richardsen y A. K. Løes. 2020. *Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review*. Waste Management 115: 95–112.
- Alonso, A. A., L. T. Antelo, I. Otero-Muras y R. Pérez-Gálvez. 2010. Contributing to fisheries sustainability by making the best possible use of their resources: the BEFAIR initiative. Trends in Food Science & Technology 21 (11): 569–578.
- Bücker, F., M. Marder, M. R. Peiter, D. N. Lehn, V. M. Esquerdo, L. Antonio de Almeida Pinto y O. Konrad. 2020. *Fish waste: An efficient alternative to biogas and methane production in an anaerobic mono-digestion system*. Renewable Energy 147: 798–805.
- Cadavid-Rodríguez, L. S., M. A. Vargas-Muñoz y J. Plácido. 2019. *Biomethane from fish waste as a source of renewable energy for artisanal fishing communities*. Sustainable Energy Technologies and Assessments 34: 110–115.
- CEPAL, FAO y IICA. 2012. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas. Una mirada hacia América Latina y el Caribe*. San Jose, Costa Rica.
- Chavan, S., B. Yadav, A. Atmakuri, R. D. Tyagi, J. W. C. Wong y P. Drogui. 2022. *Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review*. Bioresource Technology 344: 126398.
- Cheung, R. C. F., T. B. Ng y J. H. Wong. 2015. *Marine Peptides: Bioactivities and Applications*. Marine drugs 13 (7): 4006–43. d
- CONAPESCA. 2024. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca*. En: https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2024/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUA_CULTURA_Y_PESCA_2024.pdf (consultado el 01/10/2025).
- Coppola, D., C. Lauritano, F. Palma Esposito, G. Riccio, C. Rizzo y D. de Pascale. 2021. *Fish Waste: From Problem to Valuable Resource*. Marine drugs 19 (2).
- Cornish-Bowden, A. 2014. *Current IUBMB recommendations on enzyme nomenclature and kinetics*. Perspectives in Science 1 (1): 74–87.
- Devi, N. L., A. H. Singh, J. Nongthombam, S. Kumar y K. P. Chaudhary. 2024. *Fish Waste Compost - A Fertilizer for Organic Agriculture*. Journal of Experimental Agriculture International 46 (11): 778–785.
- FAO. 1986. *The production of fish meal and oil*. FAO Fisheries Technical Paper (142) 63 pp.
- FAO. 2024. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. Roma, Italia, 278 pp.

- Fasim, A., V. S. More y S. S. More. 2021. *Large-scale production of enzymes for biotechnology uses*. Current Opinion in Biotechnology (69): 68–76.
- Jaiswal, K. K., S. Dutta, I. Banerjee, K. S. Jaiswal, N. Renuka, S. K. Ratha y A. K. Jaiswal. 2024. *Valorization of fish processing industry waste for biodiesel production: Opportunities, challenges, and technological perspectives*. Renewable Energy 220: 119601.
- Jayathilakan, K., K. Sultana, K. Radhakrishna y A. S. Bawa. 2012. *Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review*. Journal of Food Science and Technology 49 (3): 278–293.
- Kaanane, A. y H. Mkadem. 2020. *Valorization Technologies of Marine By-Products*. Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products. IntechOpen. doi: 10.5772/INTECHOPEN.95031.
- Khawli, F. Al, M. Pateiro, R. Domínguez, J. M. Lorenzo, P. Gullón, K. Kousoulaki, E. Ferrer, H. Berrada y F. J. Barba. 2019. *Innovative green technologies of intensification for valorization of seafood and their by-products*. Marine Drugs 17 (12): 1–20.
- Khiari, Z. 2024. *Enzymes from Fishery and Aquaculture Waste: Research Trends in the Era of Artificial Intelligence and Circular Bio-Economy*. Marine Drugs 22 (9): 411.
- Majluf, P., K. Matthews, D. Pauly, D. J. Skerritt y M. L. D. Palomares. 2024. *A review of the global use of fishmeal and fish oil and the Fish In:Fish Out metric*. Science advances 10 (42): 5650.
- Mutalipassi, M., R. Esposito, N. Rupocco, T. Viel, M. Constatini y V. Zupo. 2021. *Bioactive Compounds of Nutraceutical Value from Fishery and Aquaculture Discards*. Foods 10 (1495): 1–22.
- Perera, E., L. Rodríguez-Viera, V. Montero-Alejo y R. Perdomo-Morales. 2020. *Crustacean proteases and their application in debridement*. Tropical Life Sciences Research 31 (2): 187–209.
- Rajabimashhadi, Z., N. Gallo, L. Salvatore y F. Lionetto. 2023. *Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges*. Polymers.
- Rojo-Arreola, L., E. Quiroz-Guzmán, J. L. Caballero, E. I. P. García, J. H. C. Murueta y F. L. G. Carreño. 2023. *Shrimp Hepatopancreatic Crude Enzymes as Aids in Rice Bran Hydrolysis: Potential Contributors to Sustainable Aquaculture*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 23 (9).
- Rossano, R., M. Larocca y P. Riccio. 2011. *Digestive enzymes of the crustaceans Munida and their application in cheese manufacturing: a review*. Marine drugs 9 (7): 1220–31.
- Sabtecha, B., J. Jayapriya y A. Tamilselvi. 2014. *Extraction and characterization of proteolytic enzymes from fish visceral waste : Potential applications as destainer and dehairing agent*. International Journal of ChemTech Research 6(10): 4504–4510.

- Salazar-Leyva, J. A., J. Lizardi-Mendoza, J. C. Ramirez-Suarez, E. M. Valenzuela-Soto, J. M. Ezquerro-Brauer, F. J. Castillo-Yañez y R. Pacheco-Aguilar. 2013. *Acidic proteases from Monterey sardine (*Sardinops sagax caerulea*) immobilized on shrimp waste chitin and chitosan supports: searching for a by-product catalytic system*. *Applied biochemistry and biotechnology* 171 (3): 795–805.
- Sasidharan, A. y V. Venugopal. 2020. *Proteins and Co-products from Seafood Processing Discards: Their Recovery, Functional Properties and Applications*. *Waste and Biomass Valorization* 11 (11): 5647–5663.
- SEPADA. 2015. *Programa Sectorial Pesquero y Acuacuícola 2015-2021*. Secretaría de Pesca, Acuicultura y Desarrollo Agropecuario Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, BCS, México.
- SEPADA. 2021. *Plan Estatal de Desarrollo 2021 - 2027*. Programa Sectorial de Pesca y Acuicultura 2021-2027. Gobierno de Baja California Sur.
- Shea, L. A., C. C. C. Wabnitz, W. W. L. Cheung, D. Pauly y U. Rashid Sumaila. 2025. *Spatial distribution of fishmeal and fish oil factories around the globe*. *Science Advances* 11 (17).
- Silva, T. H., J. Moreira-Silva, A. L. P. Marques, A. Domingues, Y. Bayon y R. L. Reis. 2014. *Marine origin collagens and its potential applications*. *Marine drugs* 12 (12): 5881–901.
- Toppe, J. y R. L. Olsen. 2024. *Fish silage production by fermentation: A manual on how microbial fermentation can turn fish waste into a valuable feed ingredient or fertilizer*. FAO. Roma, Italia, 278 pp.
- Venugopal, V. 2021. *Valorization of Seafood Processing Discards: Bioconversion and Bio-Refinery Approaches*. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 1–21.
- Zatta Cassol, G., R.-S. Jonatã Henrique y L. K. Savay-da-Silva. 2025. *Fish Byproducts as a Protein Source: A Critical Review of Fish Protein Concentrate*. *Food Reviews International* 41 (1): 201–217.

Cita

Rojo Arreola, L. Oportunidades para el rescate y la conversión de subproductos de la pesca en productos de valor. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 306-322. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0018>

Sometido: 17 de junio de 2025

Aceptado: 5 de octubre de 2025

Editora asociada: Dra. Tania Zenteno Savin

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

Molecular biology techniques for taxonomic
identification in fishery resources

Técnicas de Biología Molecular para la Identificación Taxonómica en los Recursos Pesqueros

Delia Irene Rojas Posadas^{1*}

Resumen

La biología molecular, en particular la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR por sus siglas en inglés) y sus variantes, han revolucionado la identificación de especies (por ejemplo: atún, abulón, lapas y caracoles). Su desarrollo ha transformado la manera en que se estudia la taxonomía y la gestión sostenible de recursos naturales. La identificación molecular de especies de peces es crucial para la conservación y el estudio de la biodiversidad. El uso de marcadores moleculares como el análisis de ADN mitocondrial permite la identificación de especies en productos procesados, actualmente con los avances en la biología molecular es posible realizar estudios taxonómicos a partir de ADN ambiental, obtenido de trazas de ADN de múltiples organismos en una misma muestra de agua, suelo, nieve o arena.

Palabras clave: PCR, marcadores moleculares, taxonomía molecular.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: drojas04@cibnor.mx



Abstract

Molecular biology, particularly the polymerase chain reaction (PCR) technique and its variants, has revolutionized the species identification (e.g., tuna, abalone, limpets, and snails). Its development has transformed the way taxonomy is studied and how the sustainable management of natural resources is approached. The molecular identification of fish species is crucial for the conservation and study of biodiversity. The use of molecular markers, such as mitochondrial DNA analysis, enables the identification of species in processed products. Today, with advances in molecular biology, it is possible to perform taxonomic studies using environmental DNA (eDNA), obtained from traces of DNA from multiple organisms in a single sample of water, soil, snow, or sand.

Keywords: PCR, molecular markers, molecular taxonomy.

La biología molecular y el ADN

La biología molecular es una rama de la biología que se encarga de estudiar los procesos biológicos, enfocando su estudio en las moléculas como el ADN, ARN y proteínas.

El ADN (ácido desoxirribonucleico) es una molécula que contiene la información genética necesaria para el desarrollo, funcionamiento, crecimiento y reproducción de los seres vivos, determina nuestras características hereditarias (como el color de ojos o el tipo de sangre) y permite que las células funcionen correctamente, su función principal es almacenar y transmitir la información genética, la cual se utiliza para la síntesis de proteínas, que son fundamentales para la estructura y función celular. La figura 1 muestra la estructura del ADN, que está conformada por una doble hélice unida por puentes de hidrógeno entre las bases nucleotídicas purícas y pirimidícas, la adenina (A) se une con la timina (T) y la guanina (G) con la citosina (C), un grupo fosfato y un azúcar desoxirribosa (Turner *et al.*, 2005).

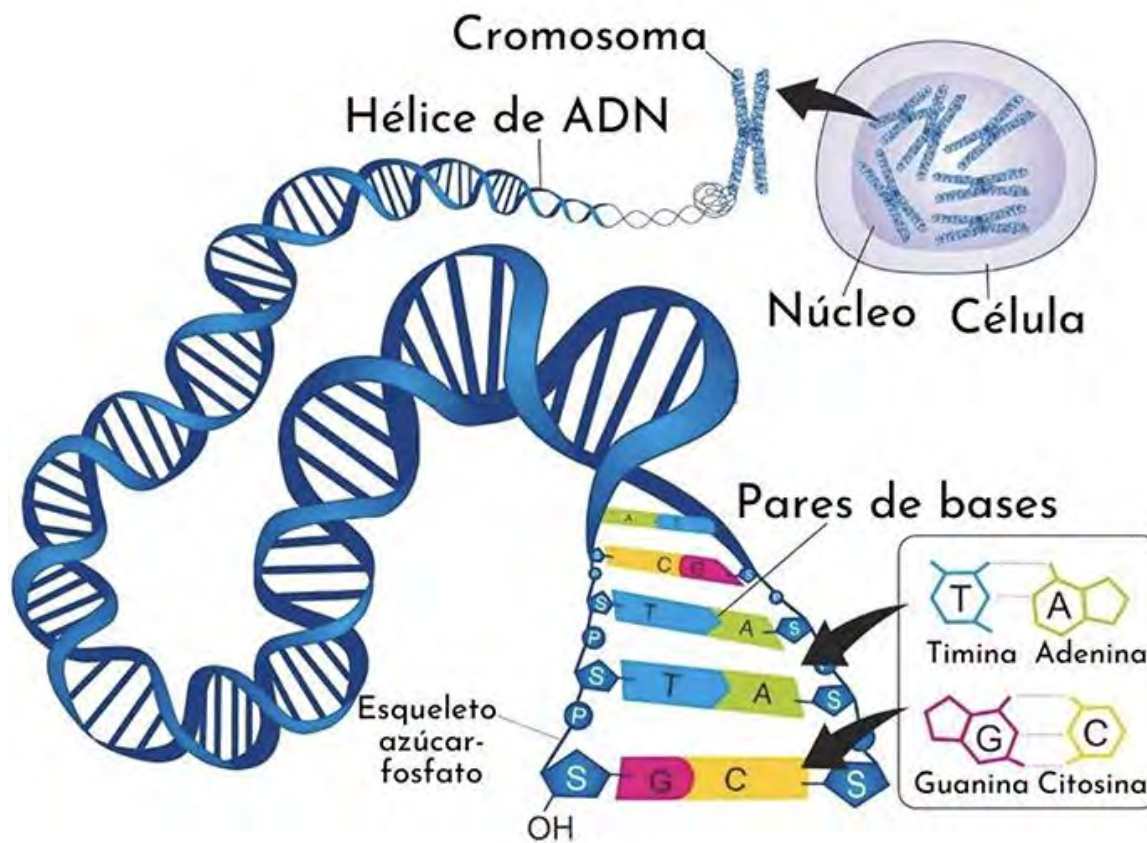


Figura 1. ADN de una célula eucariota (Tomado de <https://www.lifeder.com>)

La replicación del ADN es el proceso mediante el cual una célula viva duplica su material genético para que cada célula hija tenga información idéntica a la original.

Este proceso implica que el ADN se convierta en moléculas de doble cadena, que sirven como molde para sintetizar cadenas nuevas mediante la enzima ADN polimerasa. Aunque en la década de 1950 y 1960 se conocían los componentes y procesos básicos, no se había considerado duplicar ADN en condiciones *in vitro*, hasta que Kary Mullis en 1983, desarrolló la técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (Polymerase Chain Reaction por sus siglas en inglés).

La PCR es una de las técnicas más revolucionarias en biología molecular, permitiendo la amplificación específica de secuencias de ADN en condiciones de laboratorio. Desde su invención, la PCR ha transformado múltiples áreas de la biología, incluyendo la taxonomía molecular, complementando otros métodos utilizados para la identificación de especies como los métodos morfométricos, ayudando a resolver la identidad taxonómica de especies con una alta similitud morfológica, y también de aquellas que dada su alta plasticidad fenotípica pueden identificarse



erroneamente como especies distintas. Tal como ocurre en especies que se aprovechan comercialmente, por ejemplo en las pesquerías de organismos marinos, donde la identificación precisa de especies es fundamental para la gestión sostenible de estos recursos naturales (Faloona y Mullis, 1987).

La figura 2 muestra el proceso de replicación celular, que puede ser simulado en un tubo (PCR), donde la síntesis de nuevas cadenas de ADN se lleva a cabo mezclando: el ADN (molde) que se quiere amplificar; dos oligonucleótidos (secuencias cortas de 15 a 30 nucleótidos que son cada uno complementarios a una de las dos hebras, estos flanquean la región a amplificar y aportan el extremo 3' libre para que inicie la transcripción). Buffer 10X que funciona como solución amortiguadora proporcionando un ambiente óptimo para la ADN polimerasa, generalmente contiene Tris-HCl pH 8, KCl y $MgCl_2$, para mantener un pH estable. La polimerasa requiere de un cofactor catiónico (Mg_2) para iniciar la reacción catalítica y funcionar eficientemente. Los cuatro desoxinucleótidos trifosfato (dNTP) para su incorporación a las nuevas cadenas de ADN, la ADN polimerasa (Taq polimerasa) es una enzima termoestable, aislada de una bacteria de aguas termales (*Thermus aquaticus*), la cual ayudó a la transformación de la PCR en una reacción simple y robusta, que podía ser automatizada en un equipo que permite realizar ciclos térmicos y por último agua que es el disolvente en la reacción y se utiliza destilada libre de nucleasas (Eeles et al., 1993).

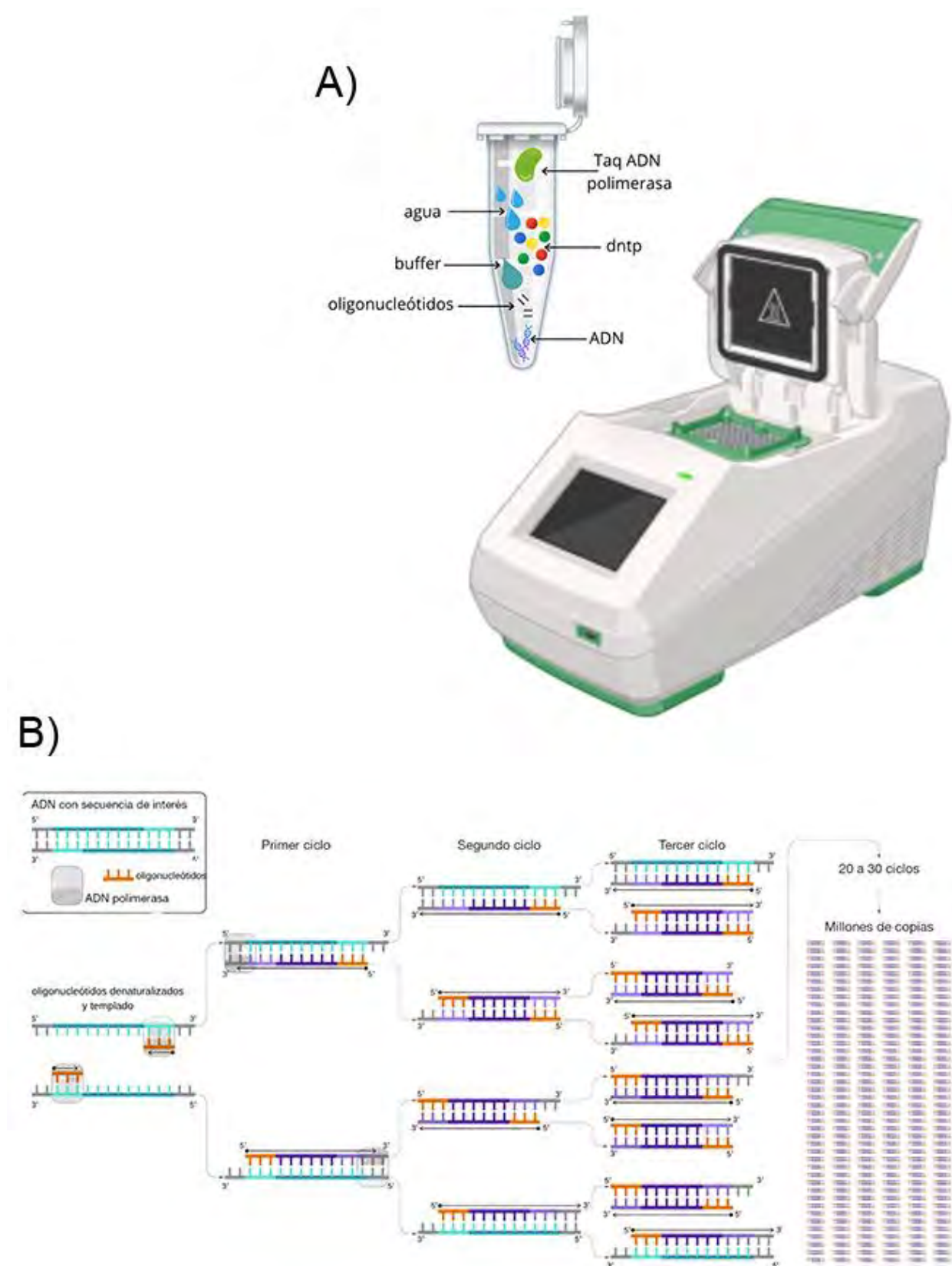


Figura 2. A) Componentes de la reacción para PCR (<https://www.canva.com>), termociclador (<https://www.biorender.com>), B) Proceso de la amplificación. Tomado de <https://www.genome.gov>.



La técnica se basa en la capacidad de una ADN polimerasa para sintetizar nuevas cadenas de ADN complementarias a partir de oligonucleótidos específicos y condiciones controladas de temperatura. La repetición de ciclos permite obtener millones de copias de la secuencia objetivo en pocas horas (Faloona y Mullis., 1987). La reacción en cadena de la polimerasa tiene diversas variantes, que se han desarrollado para diferentes fines, optimizando sensibilidad, especificidad o funcionalidad según el tipo de muestra o el objetivo del análisis (Figura 3).

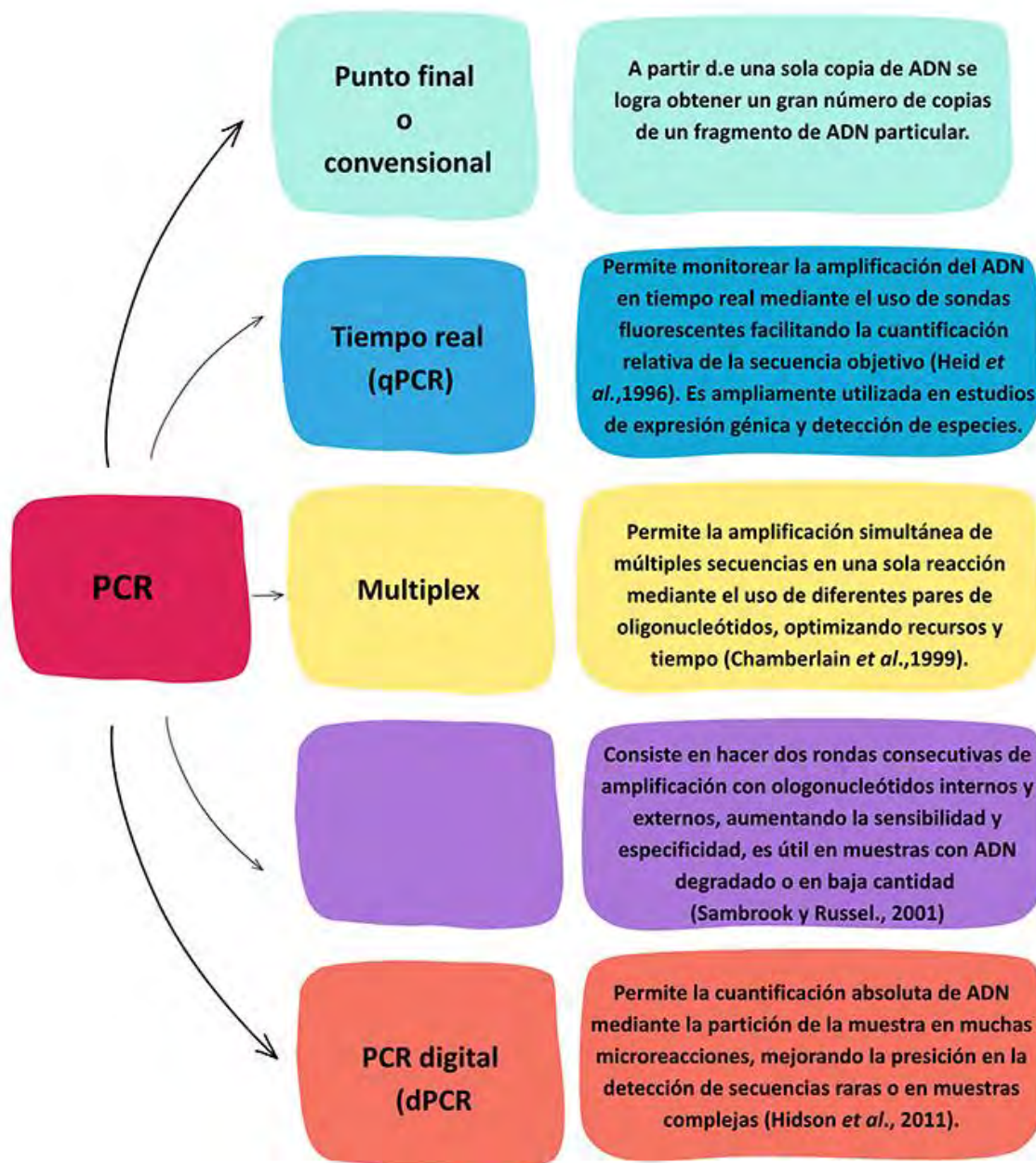


Figura 3. Variantes de la reacción en cadena de la polimerasa (Polymerase Chain Reaction por sus siglas en inglés).

La taxonomía molecular es una rama de la biología que utiliza técnicas de análisis del ADN, ARN y proteínas, como “marcadores moleculares” de identificación más confiables y otras para identificar, clasificar y determinar las relaciones evolutivas entre diferentes organismos.

La taxonomía molecular emplea secuencias genéticas para distinguir especies y entender cómo están relacionadas entre sí. Esto es especialmente útil en casos donde las diferencias morfológicas son sutiles o difíciles de observar, permitiendo una clasificación más precisa y objetiva, el análisis de secuencias de ADN para análisis filogenéticos ha abierto un campo fascinante e importante, que complementa los estudios basados en características externas o fenotipo, para realizar una aproximación taxonómica integrativa, ayudando al estudio de la divergencia de las especies, incluso logrando a establecer relojes moleculares, utilizando marcadores como la subunidad menor de ADN ribosomal 18S.

Los organismos tienen atributos biológicos únicos que mejoran su capacidad de sobrevivir en su entorno, y esta capacidad se impulsa por la variación genética presente en individuos y poblaciones. La información sobre esta diversidad genética es muy útil en estudios de evolución, conservación y manejo de especies naturales. Gracias a los avances en la clonación y la secuenciación de ADN, la taxonomía molecular y la genética de poblaciones han avanzado mucho en las últimas dos décadas, revolucionando el campo con mayor precisión y poder analítico. Los marcadores moleculares se dividen en dos tipos: los de Tipo I y los de Tipo II (Tabla 1), relacionados con genes de función desconocida. Las alozimas son marcadores moleculares de tipo I pues las proteínas que las codifican están asociadas con ciertas funciones, mientras que los microsatélites y otros marcadores neutrales son de tipo II a menos que estén asociados a genes con función conocida (Sukumaran y Gopalakrishnan, 2015).

**Tabla 1.** Tipos de marcadores moleculares.

Marcadores moleculares	Alozimas	Las proteínas que codifican están asociadas con algunas funciones.
	Tipo I	
	Mitocondriales D loop Citocromo B Citocromo C oxidasa I	El ADN mitocondrial se hereda por vía materna con un genoma haploide Se utiliza en técnicas de RFLP (polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción. Tienen una amplia aplicación en la taxonomía, biología y genética de poblaciones
	Nucleares arbitrarios Tipo II	El ADN se localiza en el núcleo. Se utiliza en técnicas de RAPD (ADN polimórfico amplificado aleatorio), tiene un alto polimorfismo y no requiere de hibridación y los AFLP (ADN polimórfico amplificado). Son utilizadas para detectar variaciones en el ADN de diferentes individuos o especies
	Nucleares específicos	Son secuencias particulares dentro del ADN que se utilizan para identificar o analizar el ADN. Microsatélites o STRs (Repeticiones cortas en tándem). Repeticiones cortas de secuencias de ADN que varían en número entre individuos, ideales para identificación forense y estudios de parentesco. SNPs (Polimorfismo de un solo nucleótido). Son las variaciones en un solo nucleótido en el ADN que también sirven como marcadores para estudios genéticos y poblacionales. Microarreglos: son pequeñas placas o láminas que contienen muchas sondas pequeñas de ADN, cada una diseñada para detectar o medir la presencia de secuencias específicas de ADN o ARN en una muestra. ESTs (Etiquetas de secuencia expresada). Secuencias cortas de ADN que se transcriben en ARN y

luego se convierten en ADN complementario (ADNc). Se utilizan mucho en estudios genéticos para identificar y localizar genes. **scnDNA** (Análisis de ADN de copia única). Secuencias nucleares no repetitivas que se presentan con una frecuencia de una por genoma haploide, permiten el estudio rápido de la variación genética en muchos individuos en un corto período de tiempo.

En la última década se han desarrollado marcadores moleculares útiles para diversas aplicaciones en la taxonomía molecular. Es de gran importancia realizar análisis genéticos detallados, además de estudios morfológicos, para diferenciar individuos a nivel de especie o población. Esto permite comprender los procesos evolutivos y reconstruir relaciones filogenéticas en grupos de relevancia.

La taxonomía molecular ha revolucionado la forma en que clasificamos a los seres vivos. Por ejemplo, mediante el análisis de secuencias de ADN, los científicos pueden identificar especies que parecen muy similares en su apariencia, pero que en realidad son genéticamente distintas. Esto es muy útil en la conservación de especies en peligro de extinción, en la identificación de especies en la biodiversidad, y en estudios evolutivos para entender cómo se relacionan diferentes grupos a lo largo del tiempo. Además, los avances en técnicas como la secuenciación de ADN han permitido descubrir nuevas especies que antes no podían distinguirse solo con observación física.

Por ejemplo, la identificación de especies de peces se ha basado tradicionalmente en características morfológicas externas, pero estas pueden ser limitadas. Los métodos basados en ADN, especialmente las técnicas de PCR, ofrecen una alternativa más precisa y versátil (Teletchea, 2009).

- La identificación tradicional se basa en características morfológicas como forma del cuerpo, color, tamaño y conteo de escamas.
- Las características morfológicas pueden mostrar variaciones intraespecíficas y ser difíciles de analizar en etapas de desarrollo temprano.



La identificación molecular de especies de peces tiene diversas aplicaciones en campos como la forense, la taxonomía y la ecología. Estas aplicaciones son cruciales para la conservación y el estudio de la biodiversidad.

- Las aplicaciones más comunes incluyen la identificación forense, taxonómica y ecológica.
- Los genes mitocondriales citocromo b y citocromo oxidasa I, han sido los marcadores de ADN más utilizados en estudios de identificación de peces.
- La identificación molecular permite el análisis de ADN en una variedad de tejidos, como músculo, aletas o sangre, e incluso en huevos y larvas donde con el uso de caracteres morfológicos se logra la identificación a nivel de especie .

La realización de un análisis de taxonomía molecular generalmente sigue estos pasos:

1. **Recolección de muestras:** Se obtiene material biológico, como tejido, sangre, huevos, larvas o incluso restos del organismo, dependiendo de la especie que se quiera estudiar.
2. **Extracción de ADN:** Se extrae el ADN de las muestras utilizando técnicas químicas o enzimáticas que permiten aislar el material genético.
3. **Amplificación del ADN:** Se emplea la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para multiplicar las regiones específicas del ADN que se desean analizar, como genes particulares que varían entre especies.
4. **Secuenciación:** Se determina la secuencia exacta de nucleótidos (el "código genético" del ADN) en esas regiones seleccionadas.
5. **Análisis comparativo:** Se comparan las secuencias obtenidas con bases de datos existentes o entre diferentes muestras para identificar similitudes y diferencias.
6. **Construcción de árboles filogenéticos:** Con los datos de las secuencias, los científicos crean diagramas o árboles filogenéticos que permiten visualizar las relaciones evolutivas entre las especies, ayudando a entender cómo están relacionadas y a asignarles una identidad taxonómica.

En el contexto de las pesquerías, la taxonomía molecular se refiere al uso de técnicas genéticas para identificar y clasificar especies de peces y otros organismos marinos. Algunos ejemplos de aplicaciones de la taxonomía molecular en pesquerías incluyen:

1. **Identificación de especies en la cadena de suministro:** utilizar ADN para verificar la especie de pez en productos que ya fueron procesados para su venta al público, ayudando a prevenir fraudes y asegurar la trazabilidad.
2. **Detección de especies en peligro o protegidas:** identificar especies bajo un estatus de amenaza o peligro de extinción, que podrían estar siendo capturadas accidental o ilegalmente, facilitando su protección.
3. **Estudios de biodiversidad y distribución:** Analizar muestras de agua o captura para entender mejor qué especies están presentes en una zona determinada.
4. **Identificación de huevos, larvas y juveniles:** Durante las etapas tempranas del desarrollo de los peces su morfología no está completamente desarrollada y suele ser difícil su identificación por métodos tradicionales, la genética permite llegar a este resultado con precisión.

El trabajo de Ward *et al* (2009), describe cómo la secuenciación del ADN mitocondrial (código de barras de ADN) se ha utilizado para identificar especies de peces incluso en distintas etapas de desarrollo, así como en productos comerciales procesados (por ejemplo, *Thunus* spp.), ayudando a detectar productos falsos y asegurar el adecuado rastreo del producto (Fig.4). En México como en otros países, la pesca ilegal es un problema que constituye una actividad altamente lucrativa para quienes la realizan, ejemplo de ello es la pesca furtiva del abulón, donde las autoridades competentes decomisan el producto y no pueden identificar la especie y/o el origen del producto cuando este ha sido procesado y no pueden acceder a la concha del organismo para identificarlo a nivel de especie (Pérez *et al.*, 2016), representando un gran problema en su comercialización, por lo cual el uso de marcadores moleculares en el área forense resulta ser de gran utilidad en la identificación taxonómica, principalmente cuando el producto ha sido desconchado, procesado y enlatado, ya que se suele utilizar moluscos con características similares al abulón, pero de menor valor económico, como las lapas u otros gasterópodos, para hacerlas pasar como productos derivados del abulón.



Figura 4. Productos alimenticios procesados verificados con herramientas moleculares (Imágenes <https://www.canva.com>).

El uso de ADN mitocondrial, específicamente el código de barras del ADN (en inglés DNA barcoding), aborda varios problemas relacionados con la biodiversidad, incluyendo:

1. **Identificación de especies:** Permite la identificación precisa de especies, incluso en etapas de desarrollo como huevos, larvas o fragmentos procesados, donde los métodos tradicionales basados en morfología son insuficientes (Figura 5).
2. **Descubrimiento de especies ocultas:** Ayuda a identificar especies previamente pasadas por alto o crípticas mediante divergencias profundas en los haplotipos de ADN.
3. **Diferenciación geográfica:** Analiza la variación genética dentro de una misma especie en diferentes regiones, lo que puede revelar patrones de distribución y posibles nuevas especies.
4. **Problemas de hibridación:** Identifica casos de hibridación entre especies, aunque el ADN mitocondrial solo refleja la línea materna, lo que puede requerir análisis adicionales de ADN nuclear.
5. **Errores taxonómicos:** Ayuda a corregir identificaciones erróneas en bases de datos históricas y a mejorar la precisión de los registros taxonómicos.
6. **Conservación y manejo de especies:** Contribuye a la identificación de especies amenazadas, protegidas o en peligro de extinción, así como el monitoreo de cuotas y la gestión sostenible de pesquerías.
7. **Prevención de sustitución en mercados:** Detecta casos de etiquetado incorrecto o sustitución de especies en productos comerciales, protegiendo a los consumidores y regulando el comercio.
8. **Estudio de redes tróficas:** Permite identificar especies en contenidos estomacales y entender mejor las interacciones ecológicas.

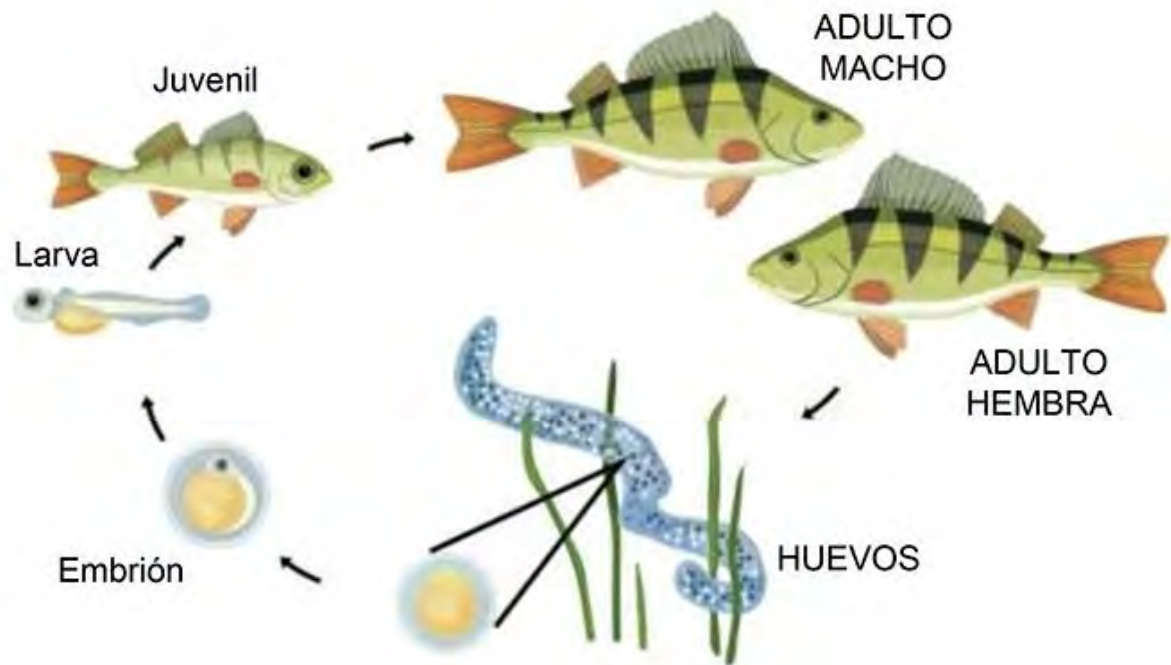


Figura 5. Desarrollo embrionario de un pez. Tomado de <https://www.ecologiaverde.com>

En general, el código de barras de ADN es una herramienta poderosa para abordar los desafíos de biodiversidad, mejorar la taxonomía y apoyar la conservación global. A pesar de los avances, existen desafíos significativos en el desarrollo de métodos de identificación molecular. Algunos desafíos para la fiabilidad y la eficacia de los resultados son:

1. Problemas como la degradación del ADN y la fiabilidad de las secuencias son comunes en la identificación molecular.
2. La utilización de nombres científicos inconsistentes puede complicar la identificación precisa de especies.
3. La identificación de etapas de vida tempranas, como huevos y larvas, sigue siendo un desafío considerable.

Aplicaciones de Métodos de Identificación

Los métodos de identificación de especies de peces tienen aplicaciones en diversas áreas, incluyendo la ciencia forense, la taxonomía y la ecología. La ciencia forense, especialmente la autenticación de alimentos, es la aplicación más importante.

- Se han desarrollado métodos para identificar especies en productos alimenticios procesados, como el surimi y el caviar.



- La identificación de etapas tempranas de vida de los peces es un área en crecimiento.
- La identificación de relaciones tróficas es crucial para estudios ecológicos, utilizando métodos moleculares para analizar dietas.

La identificación molecular de especies de peces es un campo en evolución que combina métodos tradicionales especialmente en casos de especies crípticas, requiere un enfoque cuidadoso al usar nombres científicos debido a la variabilidad genética y la hibridación entre especies por ello es necesario utilizar métodos taxonómicos tradicionales. La colaboración con taxónomos es esencial para validar métodos de identificación y asegurar la precisión en la clasificación de especies.

Problemas en la Identificación Molecular

Existen varios problemas que pueden afectar la identificación molecular de especies de peces, incluyendo la calidad del ADN y la confiabilidad de las secuencias en las bases de datos.

1. En alimentos procesados, a menudo el ADN está degradado, lo que dificulta su extracción y amplificación.
2. Las secuencias en bases de datos pueden ser incorrectas debido a errores de secuenciación o contaminación.
3. La identificación de especies puede verse afectada por la existencia de pseudogenes nucleares (numts) que pueden ser amplificados erróneamente.
4. Se recomienda la re-secuenciación y el uso de múltiples secuencias de referencia para mejorar la precisión.

Importancia de la Identificación en Productos Alimenticios

La identificación de especies en productos alimenticios es esencial para garantizar la calidad y la seguridad del consumidor. Esto es especialmente relevante en el contexto de la globalización del comercio de pescado.

- La autenticación de especies en productos enlatados y procesados es crucial para la seguridad alimentaria.
- Se han reportado casos de fraude en la comercialización de productos pesqueros, lo que resalta la necesidad de realizar una identificación precisa de las especies.
- La identificación molecular puede ayudar a prevenir problemas de salud pública relacionados con el consumo de especies no declaradas.

- La regulación y control de la calidad de los productos pesqueros se benefician de estas técnicas de identificación.

Avances en la Tecnología de Identificación

Los avances en la tecnología de identificación molecular han permitido un desarrollo significativo en la identificación de especies de peces. Estas innovaciones están mejorando la precisión y la rapidez de los análisis.

- La tecnología de secuenciación de nueva generación (New Generation Sequencing o NGS) está revolucionando la identificación de especies.
- Se han desarrollado métodos de identificación de ADN que son más accesibles y menos costosos.
- La automatización en los procesos de análisis de ADN está aumentando la eficiencia en laboratorios.
- La integración de la bioinformática en la identificación molecular está facilitando el análisis de grandes volúmenes de datos.

La utilización del ADN ambiental (eDNA por sus siglas en inglés) como un método de identificación

El ADN ambiental (eDNA) es una técnica no invasiva que permite identificar especies raras y en peligro en ecosistemas acuáticos mediante la recolección de trazas genéticas. Esta metodología ha ganado popularidad en la última década, transformando la forma en que se monitorea la biodiversidad. El eDNA se utiliza para detectar patrones de diversidad en ecosistemas acuáticos. Es un método no invasivo que no daña a las especies ni altera sus hábitats durante la recolección, por lo que se ha convertido en una herramienta clave para la gestión de recursos pesqueros (Sahu *et al.*, 2023).

El eDNA se refiere al ADN que los organismos liberan en su entorno, que puede ser recuperado de agua, sedimentos y otros medios. El ADN ambiental proviene de células y desechos de organismos, se puede extraer de muestras de agua, sedimentos y núcleos de hielo y puede persistir en sedimentos durante miles de años. (Figura 6).

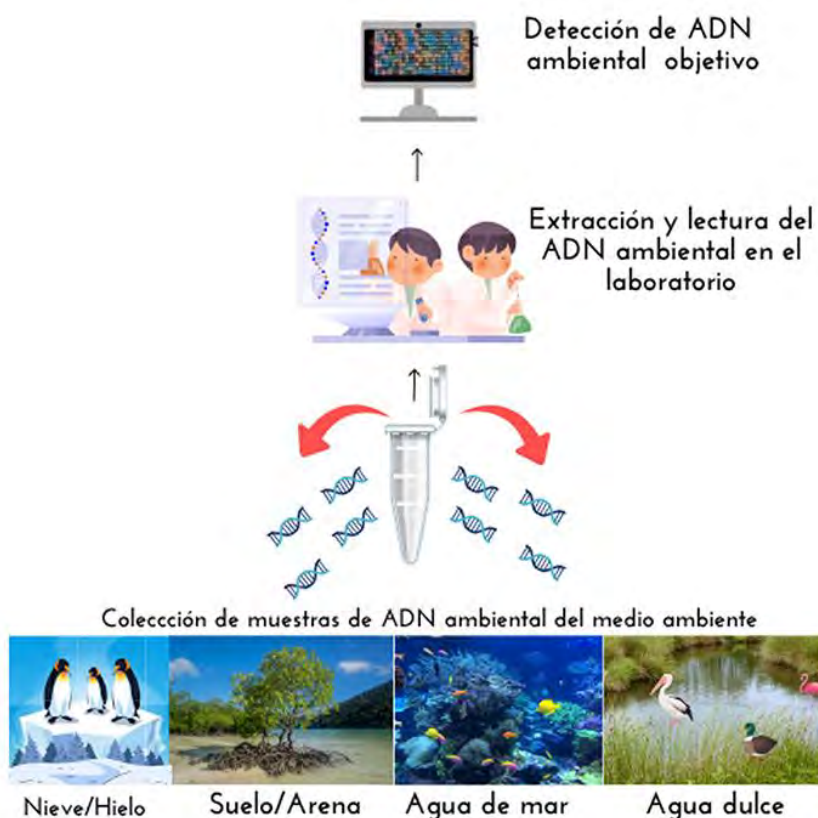


Figura 6. Flujo de trabajo del ADN ambiental (eDNA). Modificado de Ashish Sahu *et al.*, 2023.

Debido a que el ADN se degrada rápidamente en ambientes acuáticos, tiene una persistencia que varía de menos de un día a varias semanas, dependiendo de las condiciones ambientales. Factores como la temperatura, la luz y la actividad microbiana influyen en su degradación.

El análisis de ADN ambiental puede ser específico para una especie o multiespecífico, para código de barras (múltiples especies) se utilizan diversas técnicas de PCR para detectar y cuantificar el ADN ambiental con métodos como PCR convencional, qPCR y dPCR. La identificación de especies se realiza mediante secuenciación de alto rendimiento. Sus aplicaciones incluyen la conservación de la biodiversidad y el monitoreo de especies invasoras, raras y endémicas, facilitando la estimación y cuantificación de la biomasa.

Además, permite realizar evaluaciones rápidas y de bajo costo en comparación con los métodos tradicionales de muestreo y minimiza el impacto sobre las especies y su hábitat (Teletchea, 2009).

Al combinar el análisis de secuencias con muestras de eDNA, se obtiene una representación más completa y precisa de la biodiversidad en un área determinada. Esta sinergia tecnológica ofrece una

vía poderosa para el monitoreo ambiental, la detección temprana de cambios en los ecosistemas y la toma de decisiones basada en evidencia científica (Sukumaran y Gopalakrishnan, 2015). La identificación de especies utilizando muestras de ADN ambiental, depende de la disponibilidad de registros de secuencias en bases de datos de referencia, las cuales están en constante crecimiento gracias a iniciativas globales. Estas bases de datos incluyen GenBank, BOLD, EMBL y MITOFISH, que proporcionan información sobre diversas especies a nivel mundial (Sahu *et al.*, 2023).

Literatura citada

- Chamberlain, J. S., Gibbs, R. A., Ranier, J. E., Nguyen, P. N., y Caskey, C. T. 1988. *Deletion screening of the Duchenne muscular dystrophy locus via multiplex DNA amplification*. Nucleic Acids Research 16 (23): 11141–11156.
- Eeles, R. A., M. A., M. B., B. S., M. R. C. P., F. R. C. R., y Alasdair C. Stamps. 1993. *Polymerase chain reaction (PCR): The technique and its applications*. R. G. Landes Company. EE. UU. 107 pp
- Faloona, F. A., y Mullis, K. B. 1987. *Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction*. Methods in Enzymology. Academic Press. San Diego California, EE.UU. 155, pp 335-350.
- Heid, C. A., J. Stevens, K. J. Livak y P. M. Williams. 1996. *Real-time quantitative PCR*. Genome Research 6 (10): 986-994.
- Hindson, B. J., Ness, K. D., D. A. Masquelier, P. Belgrader, N. J. Heredia, A. J. Makarewicz, I. J. Bright, M. Y. Lucero, A. Hiddessen, T.C. Legler, T. K. Kitano., M. R. Hodel., J. F. Petersen., P. W. Wyatt, E. R. Steenblock, P. H. Shah, L. J. Bousse, C. B. Troup, J. C. Mellen, D. K. Wittmann, N. G. Erndt, T. H. Cauley, R. T. Koehler, A. P. So, S. Dube, K. A. Rose, L. Montesclaros, S. Wang, D. P. Stumbo, S. P. Hodges, S. Romine, F. P. Milanovich, H. E. White, J. F. Regan, G. A. Karlin-Neumann., C. M. Hidson., S. Saxonov, y B. W. Colston. 2011. *High-throughput droplet digital PCR system for absolute quantitation of DNA copy number*. Analytical Chemistry 83(22): 8604–8610.
- Pérez Enríquez, R., Díaz Viloria, N., Cruz Hernández, P., Aranceta Garza, F., Gutiérrez González, J. L., Arciniega de los Santos, A., y Max Aguilar, A. 2016. . Estudios de genética en poblaciones de abulón y sus aplicaciones en ordenamiento pesquero. Recursos Naturales y Sociedad, Vol. 2 (2): 24-39. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2016.02.02.02.0002>
- Sambrook J., y Russell, D. W. 2001. *Molecular cloning: A laboratory manual*. Cold Spring Harbor Laboratory Press. New York, EE.UU. 2. Capítulo 8.



- Sahu, A., Kumar, N., Singh, C. P. y Singh, M. 2023. *Environmental DNA (eDNA): Powerful technique for biodiversity conservation*. Journal for Nature Conservation. 71.
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126325>.
- Sukumaran, S., y Gopalakrishnan, A. 2015. *Molecular taxonomy - Applications, limitations and future*. Central Marine Fisheries Research Institute. (22).
<https://eprints.cmfri.org.in/10427/.pdf> (consultado el 01/04/2025).
- Teletchea, F. 2009. *Molecular identification methods of fish species: Reassessment and possible applications*. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 19: 265-293.
- Turner, P., McLennan, A., Bates, A. y White, M. 2005. *Instant notes in molecular biology*. Taylor Francis Group. New York, EE.UU. 362pp.
- Ward, R. D., R Hanner., y P. D. N. Hebert. 2009. *The campaign to DNA barcode all fishes, FISH-BOL*. Journal of Fish Biology. 74(2): 329–356.

Cita

Rojas Posadas, D.I. Técnicas de biología molecular para la identificación taxonómica en los recursos pesqueros. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 324-341.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0019>

Sometido: 17 de junio de 2025

Aceptado: 27 de julio de 2025

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco

