

Santibañez-Aguascalientes, N.A., L.A. Ascencio-Aguirre & L.D. Ortiz-Lozano. 2025. Los Índices Bentónicos como Instrumentos de Diseño de Políticas Públicas para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 521-540. In: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano & A.L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México: Integrando los Ambientes Costeros. Universidad Autónoma de Campeche. 540 p. ISBN 978-607-8907-34-2. doi 10.26359/EPOMEX02202521.

Los Índices Bentónicos como Instrumentos de Diseño de Políticas Públicas para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Norma A. Santibañez-Aguascalientes^{1,},
Luis A. Ascencio-Aguirre² & Leonardo D. Ortiz-Lozano³*

¹Facultad de Ciencias Biológicas,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

²Departamento de Recursos del Mar,
Cinvestav Unidad Mérida

³Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías,
Universidad Veracruzana

*Autor de correspondencia: *norma.benthic@gmail.com*

Resumen

Las actividades humanas, principalmente la pesca, y los factores de estrés del cambio climático representan un desafío en la gestión de los recursos marinos. Ante esta problemática, México se ha alineado a la Agenda 2030 de la ONU; sin embargo, persiste una amplia brecha entre la ciencia y la política, lo cual evidencia la falta de gestiones basadas en los ecosistemas. En este capítulo se discute la falta de acceso a la información biológica y, en particular, aquella sobre el estado de salud de los ecosistemas marinos. Se propone un modelo conceptual sobre cómo incorporar la información de la infauna bentónica para evaluar el impacto de las presiones humanas, que sirva como línea base para establecer criterios de calidad en los fondos marinos y costeros. Este enfoque utiliza al Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) como un caso de estudio, siendo este modelo conceptual reproducible para otras regiones del país. La información se organiza y desarrolla de la siguiente manera: 1) importancia ecológica de la infauna bentónica y su aplicación en índices bentónicos, 2) fuentes de información de la infauna en el CASGM, 3) Integración y estandarización de los datos, 4) Interfaz ciencia y política, y 5) Índices bentónicos para el diseño de políticas públicas. Este modelo conceptual refleja que el estudio de la infauna bentónica provee información valiosa sobre la salud de los ecosistemas marinos y que puede ser de gran utilidad en el diseño de herramientas regulatorias de referencia para la toma de decisiones en materia de impacto ambiental y ordenamiento territorial.

Palabras clave: infauna bentónica, interfaz ciencia-política, presiones humanas.

Abstract

Human activities, mainly fishing, and the effects of climate change represent a challenge in the management of marine resources. According to the 2030 Agenda, Mexico has committed to protecting 30% of its marine territory by 2030. However, it requires bridging the gap between science and policy, which shows the lack of ecosystem-based management approaches. Hence, we discuss the lack of access to biological information, particularly that facilitates the validation and harmonization of environmental status assessments. Here, we propose a conceptual model to integrate benthic infauna data to assess the human pressures on coastal and marine ecosystems. This approach can be used as a baseline to set sedimentary quality criteria. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico (CASGM) was a case study, although this model can be reproduced for other regions of Mexico. The information is developed as follows: 1) ecological importance of benthic infauna and its application in benthic indices, 2) infauna data sources in the CASGM, 3) integrate and harmonize datasets, 4) science-policy interface, and 5) benthic indices for designing public policy. This conceptual model reflects that the study of benthic infauna provides valuable information about the health of marine ecosystems. It can be used to design guidelines and tools for marine environmental management.

Keywords: benthic infauna, science-policy interface, human pressures.

Introducción

Los ecosistemas costeros y marinos están siendo afectados cada vez más por presiones humanas como la pesca, el cambio en el uso de suelo (urbanización, agricultura, etc.), los contaminantes acarreados por los ríos, el tráfico marítimo, etc. Las especies marinas enfrentan de forma diferente estos impactos humanos de magnitud variable, acumulativos y sinérgicos. Globalmente, las especies de coral formadoras de arrecifes, y los manglares, han experimentado impactos más intensos en sus áreas de distribución (>80 %) debido principalmente a la actividad pesquera y a los factores de estrés del cambio climático (O'Hara *et al.*, 2021). Ante esta problemática, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas adoptó la Agenda 2030 para el desarrollo sustentable, la cual considera la gestión pesquera, el control de la calidad del agua y el establecimiento de áreas marinas protegidas. En el caso del golfo de México, se ha propuesto una red de gestión transfronteriza para proteger a los sistemas arrecifales, identificándolos como *corredores biológicos*, para que las acciones de conservación mantengan la conectividad ecológica (Gil-Agudelo *et al.*, 2020).

Actualmente, el 22 % de la Zona Económica Exclusiva de México se encuentra bajo un esquema de protección, existiendo el compromiso de aumentar esta superficie hasta el 30 % para el año 2030 (Perera-Valderrama *et al.*, 2023). A pesar de estas perspectivas, en el suroeste del golfo de México persiste un problema fundamental: la pobre vinculación entre los avances científicos y el sector gubernamental.

Lo anterior se hace evidente en tres problemas que surgen cuando se quiere aplicar una gestión basada en ecosistemas:

- Falta de reconocimiento de la conectividad biológica entre los sistemas arrecifales dentro de los programas de manejo de las áreas marinas protegidas. Ejemplo específico de esto son los programas de manejo de la Zona de Protección de Flora y Fauna Lobos-Tuxpan y del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), los cuales, a pesar de que se ha demostrado su conectividad como parte del CASGM, ignoran esta característica como parte de sus herramientas de planeación.
- Uso de métodos o herramientas desactualizados para la toma de decisiones, que no consideran la estructura ni la función de los sistemas marinos. Por ejemplo, la subjetiva Manifestación de Impacto Ambiental de la Ampliación del puerto de Veracruz (SEMARNAT, 2013), la cual fue desechada por la Suprema Corte de Justicia de la Nación en 2022, por haberse demostrado que no se utilizó el mejor conocimiento científico disponible para evaluar los impactos de este megaproyecto.
- Falta de acceso a la información biológica disponible para el suroeste del golfo de México. Tal es el caso de múltiples estudios realizados por empresas del sector energético, dependencias gubernamentales e instituciones académicas, cuyos resultados no son accesibles al público ni están vinculados entre los ac-

tores clave (*e.g.* académicos y tomadores de decisiones).

Este último problema es discutido en este capítulo, puesto que el punto de partida para lograr de manera exitosa las perspectivas de la Agenda 2030, es el acceso a datos oceanográficos, en particular, aquellos que puedan brindar información sobre el estado de salud del mar, reduciendo así la brecha entre la política y la ciencia.

Actualmente, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) recopila y comparte registros biológicos marinos de, al menos, 100 años (<https://www.snib.mx/>) y parte de esta información está disponible en el Sistema de Información y Análisis Marino Costero (SIMAR) (<https://simar.conabio.gob.mx/>); sin embargo, se requieren mayores esfuerzos metodológicos para que la información sea apropiada por los tomadores de decisiones, puesto que existe información biológica, como es el caso de las especies de invertebrados marinos, que no está vinculada con otras dependencias gubernamentales, *p.ej.* Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT) o Secretaría de Energía (SENER). Los registros de los invertebrados marinos, en particular la infauna bentónica, pueden ser utilizados para diseñar y aplicar herramientas

que permitan conocer el estado de salud de los fondos marinos y costeros, ya que en México no existen criterios ni marcos legales para hacerlo.

En el presente capítulo se propone un modelo conceptual sobre cómo incorporar la información de la infauna bentónica en la evaluación del impacto de las presiones humanas, que sirva como línea base para establecer criterios de calidad en los fondos marinos y costeros. Este enfoque utiliza al CASGM como un caso de estudio, siendo este modelo conceptual reproducible para otras regiones del país, como el Pacífico central y sur, con altos vacíos de información biológica (Palacios-Abrantes *et al.*, 2019). Este modelo conceptual se plantea para demostrar que el estudio de la infauna bentónica como componente biológico tiene una incidencia en el uso de evidencia científica para el diseño de regulaciones legales en los fondos marinos. Este trabajo se presenta de la siguiente manera: 1) Importancia ecológica de la infauna bentónica y su aplicación en índices bentónicos, 2) Fuentes de información de la infauna en el CASGM, 3) Integración y estandarización de la información, 4) Interfaz ciencia y política, y 5) Índices bentónicos para el diseño de políticas públicas.

Importancia de la infauna bentónica y su aplicación en índices bentónicos

La infauna bentónica es el ensamblaje de organismos que viven dentro de los sedimentos de los fondos marinos. Estos organismos pueden vivir total, o parcialmente, dentro de los sedimentos y está representada

por diversos grupos de animales (27 filos) como por ejemplo poliquetos, nemátodos, crustáceos y moluscos (Walag, 2022; Giere & Schratzberger, 2023). Estos organismos habitan desde la zona intermareal, en la lí-

nea de playa, hasta la zona hadal (11,000 m de profundidad), por lo que su distribución se extiende en alrededor del 60 % del fondo marino mundial, considerado el hábitat más grande y poco explorado de la superficie de la Tierra (Snelgrove, 1997).

La infauna bentónica es clasificada de acuerdo con su talla: la meiofauna, con rangos de 40 μm a 300 μm (dominada por foraminíferos y nemátodos) y la macrofauna, con rangos de 300 μm a 30 mm (dominada por poliquetos, crustáceos y moluscos) (Giere & Schratzberger, 2023). Estos organismos tienen relevancia en el funcionamiento de los ecosistemas marinos, entre lo que destaca: 1) influyen en las propiedades fisicoquímicas del sedimento mediante el proceso de bioturbación, es decir, el movimiento y transporte de partículas de sedimento (Lacoste *et al.*, 2018), 2) participan en los procesos biogeoquímicos como en la regulación de los niveles de nitrógeno y fósforo; la ausencia de estos organismos genera una mayor expansión de las zonas mínimas de oxígeno (Kendzierska *et al.*, 2020), 3) constituyen una fuente importante de alimento para otros niveles tróficos (van de Wolfshaar *et al.*, 2020), 4) responden a los disturbios, cambiando la composición de especies sensitivas a oportunistas (Raymond, 2022).

Estas características funcionales han sido consideradas para su inclusión en monitoreos a largo plazo después de un disturbio. En este sentido, los ensamblajes de la meiofauna y la macrofauna se pueden recuperar después de un derrame de petróleo (> 4 años), a diferencia de organismos más grandes (> 30 mm), que requieren un mayor tiempo de recuperación (*e.g.* megaepifauna

>7 años y corales 10-30 años) (Schwing *et al.*, 2020).

Tanto la macrofauna como la meiofauna son considerados buenos indicadores biológicos para evaluar los impactos en los ecosistemas marinos y costeros. En ecología, el término “indicador” se refiere a un componente o medida de fenómenos ambientales relevantes que permiten evaluar los cambios en el estado del ecosistema. En cuanto al término “índice” es utilizado en una amplia gama de dominios (ciencia, sociología, economía) y corresponde a un cociente numérico que sirve para comparar una variable con otra, o con un número de referencia derivado de una serie de hechos observados, en el cual se pueden revelar cambios en el tiempo. Los índices facilitan la comunicación de los impactos complejos y de los procesos de gestión a una audiencia no especializada (Dauvin *et al.*, 2010).

Desde hace más de 20 años se han desarrollado índices bentónicos, basados mayormente en las especies de la macroinfauna, que representan el 27 % de los casi 300 métodos de evaluación biológica en la directiva europea del agua (Birk *et al.*, 2012). En Europa se diseñó el índice Biótico Marino de AZTI llamado AMBI (Borja *et al.*, 2000) y el índice multivariable de AMBI llamado M-AMBI (Muxika *et al.*, 2007), los cuales han sido ampliamente usados en diferentes regiones templadas y tropicales, ya que son herramientas robustas y detectan las presiones humanas sobre el estado ecológico de los fondos marinos (Borja *et al.*, 2015).

Los índices AMBI y M-AMBI se basan en las abundancias de las especies de la macrofauna bentónica, según su respuesta ecológica (*e.g.* sensitivas, tolerantes, oportunistas);

como son organismos asociados a los fondos y tienen poca o nula movilidad, ellos reciben constantemente los disturbios. Estos cambios en la composición funcional de las especies pueden ser cuantificados por los índices bentónicos; por ejemplo, la dominancia de las especies sensitivas indicará un mejor estado de salud que en sitios cuya dominancia este dada por especies oportunistas, indicando un mal estado ecológico.

Estas herramientas cuantifican el impacto, considerando la estructura y función de la fauna bentónica; los resultados pueden ser comunicados a los tomadores de decisiones de una manera fácilmente comprensible, ya que la información ecológica es traducida en escalas colorimétricas (e.g. escala de Likert) para conocer el estado ecológico de los fondos marinos (figura 1).

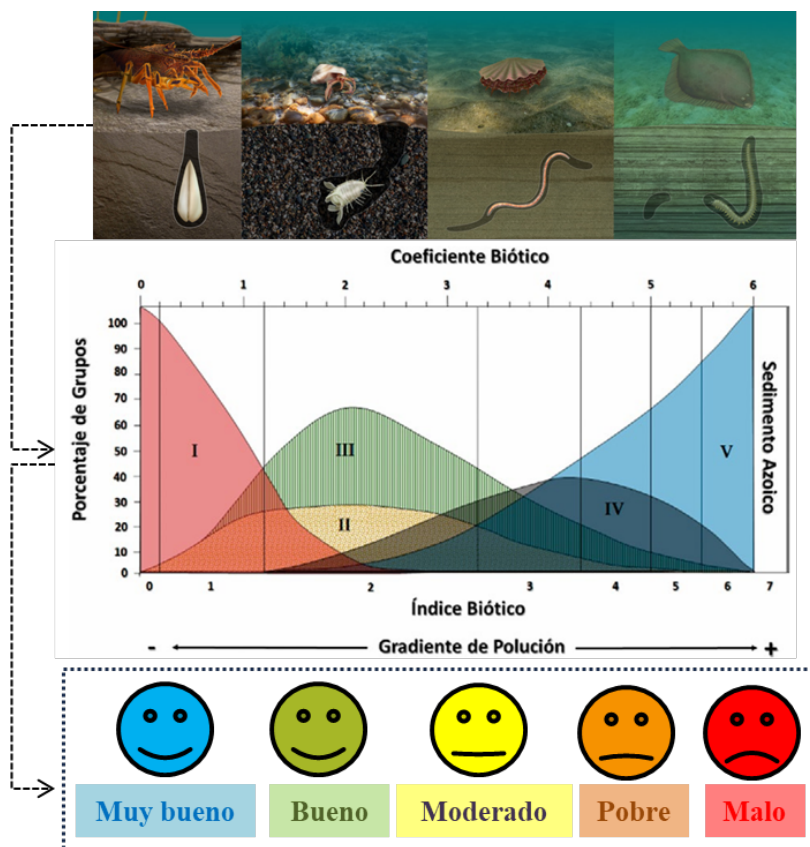


Figura 1. Evaluación del estado ecológico por los índices AMBI y M-AMBI con base en la distribución de los grupos ecológicos (especies sensitivas, I; especies indiferentes, II; especies tolerantes, III; especies oportunistas de segundo orden, IV; especies oportunistas de primer orden, V) de la macrofauna. Imagen modificada de Borja *et al.* (2000) y NASA-Department of Conservation <https://www.sciencelearn.org.nz/images/4598-physical-marine-habitats>.

Los índices AMBI y M-AMBI han sido incorporados en los marcos legales de las directivas europeas, en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), entre otros países, para que las autoridades gubernamentales identifiquen las fuentes de contaminación y tomen medidas que garanticen un buen estado ecológico de los cuerpos de agua (Borja *et al.*, 2008). Recientemente, los índices AMBI y M-AMBI han sido aplicados y analizados para la región del sur del golfo de México, lo que ha permitido establecer rutas

metodológicas para la calibración y validación de estos índices, puesto que estas herramientas fueron diseñadas para ambientes templados con ensamblajes faunísticos diferentes a las reportadas para el golfo. También se han propuesto escenarios de sostenibilidad, basados en el análisis complementario de indicadores socioeconómicos, de calidad de agua, calidad sedimentaria e índices bentónicos (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2018, 2020, 2021, 2023).

Fuentes de información de la infauna bentónica en el CASGM

El CASGM cuenta con amplia información de la infauna bentónica, la cual puede ser utilizada como línea base ambiental para el análisis de los índices AMBI y M-AMBI. La obtención de los datos de la infauna bentónica puede provenir de tres principales orígenes: de los estudios ambientales relativos al sector energético, de la CONABIO y de las instituciones académicas con otros financiamientos.

Desde la década de los noventa, finales del siglo XX, PEMEX Exploración y Producción (PEP) ha realizado estudios ambientales a través de instituciones nacionales de investigación como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) (tabla 1) (Quintero-Mármol *et al.*, 2003).

Estos estudios se realizaron con datos representativos de una red de muestreo costero y marino del sur del golfo de México (~436,000 km²) (*e.g.* Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2023), lo que requiere de es-

fuerzos logísticos, operacionales y de financiamiento (~40 millones de pesos por campaña). Parte de los sitios de muestreo se localizaron a lo largo del CASGM; el CINVESTAV tiene la mayor representación con más de 40 estaciones y secundariamente la UNAM (< 20 estaciones) en la parte sur del corredor.

Por otra parte, el Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad de México (SNIB) (<https://www.snib.mx/>), como parte de los proyectos financiados o desarrollados por la CONABIO, tiene un total de 3,465 registros de la infauna bentónica en el CASGM que corresponden a los últimos 88 años (1933-2021). El 90 % de estos datos provienen de la Universidad Autónoma de Nuevo León (38 %), UNAM (30 %), CONABIO (11 %) y de instituciones extranjeras (11%) (figura 2B).

En el ámbito académico, se encontraron 53 trabajos referentes al estudio de la infauna bentónica en el CASGM en un período de 75 años (1946-2021). Las principales fuen-

Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México:
integrando los ambientes costeros

Tabla 1. Campañas oceanográficas realizadas en los servicios relativos a la actividad petrolera de PEMEX (1996-2021). Modificada de Quintero-Mármol *et al.* (2003).

| No. | Nombre | Año | Temporada climática | Estaciones | Institución | Cobertura en el CASGM |
|-----|----------------------------------|------|---------------------|------------|-------------|-----------------------|
| 1 | SGM-1 | 1995 | Lluvias | 36 | UNAM | Sí |
| 2 | SGM-2 | 1996 | Lluvias | 48 | UNAM | Sí |
| 3 | PERFOTOX-I | 1996 | Lluvias | 25 | IMP | No |
| 4 | PERFOTOX-II | 1996 | Nortes | 25 | IMP | No |
| 5 | PERFOTOX-III | 1997 | Nortes | 26 | IMP | No |
| 6 | SGM-3 | 1997 | Nortes | 51 | UNAM | Sí |
| 7 | PERFOTOX-IV | 1997 | Secas | 25 | IMP | No |
| 8 | SGM-4 | 1998 | Nortes | 53 | UNAM | Sí |
| 9 | SGMA-A1 | 1998 | Nortes | 21 | UNAM | Sí |
| 10 | XCAMBO-I | 1999 | Lluvias | 69 | CINVESTAV | Sí |
| 11 | NÚCLEOS 2000 | 2000 | Lluvias | 51 | TDI-BROOKS | No |
| 12 | SGM-6 | 2001 | Lluvias | 82 | UNAM | Sí |
| 13 | SGM-7 | 2002 | Nortes | 80 | UNAM | Sí |
| 14 | SGM-8 | 2003 | Lluvias | 122 | UNAM | Sí |
| 15 | PLAT-DB | 2003 | Nortes | 110 | IMP | |
| 16 | XCAMBO-II | 2005 | Lluvias | 137 | CINVESTAV | Sí |
| 17 | KAB-121 | 2008 | | 21 | CINVESTAV | Sí |
| 18 | XCAMBO-IV | 2009 | Lluvias | 121 | CINVESTAV | Sí |
| 19 | XCAMBO-V | 2011 | Secas | 128 | CINVESTAV | Sí |
| 20 | CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA | 2012 | Lluvias | 123 | CINVESTAV | Sí |
| 21 | CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA | 2013 | Lluvias | 121 | CINVESTAV | Sí |
| 22 | EXTENSIÓN INTEGRAL MARINO NORTE | 2014 | Nortes | 156 | CINVESTAV | Sí |
| 23 | CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA | 2015 | Lluvias | 125 | CINVESTAV | Sí |
| 24 | CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA | 2019 | Nortes | 120 | CINVESTAV | Sí |
| 25 | CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA | 2020 | Nortes | 119 | CINVESTAV | Sí |
| 26 | EVALUACIÓN AMBIENTAL EVENTO L256 | 2021 | Lluvias | 15 | CINVESTAV | No |

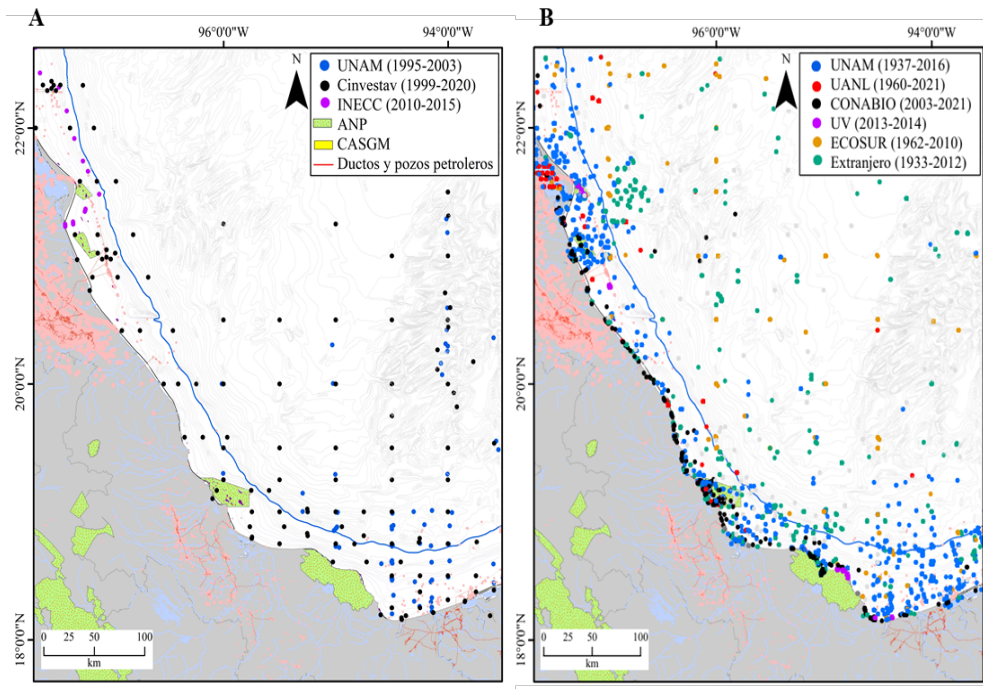


Figura 2. Registro de la macrofauna en el golfo de México. A) Estaciones de muestreo de las Campañas Oceanográficas relacionadas con la industria del petróleo (estos datos no se encuentran disponibles). B) Datos disponibles del SNIB (<https://www.snib.mx/>).

tes de información son los artículos científicos (62 %) y las tesis (33 %). La mayoría de estos corresponden a estudios taxonómicos (70 %), secundariamente a descripciones ecológicas (26 %), y con escasos enfoques de aplicación como los índices bentónicos (4 %) (figura 3).

Estos datos de la infauna a baja escala (de metros a kilómetros) podrían ser incluidos en la base de metadatos relacionados con la investigación marino-costera en México (Infocéanos: <https://simar.conabio.gob.mx/sidmo-infoceanos/>), para registrar e incrementar el conocimiento biológico. La base de metadatos Infocéanos incluye diferentes fuentes de información como el Ocean

Biogeographic Information System (OBIS) (Palacios-Abrantes *et al.*, 2019).

Es necesaria la articulación y colaboración continua de estos tres orígenes de información sobre la infauna bentónica, ya que cada uno aporta información complementaria para comprender y analizar los patrones de distribución de los ensamblajes faunísticos. En el caso del sector energético, los atributos comunitarios de la infauna bentónica son acordes a lo reportado para el golfo de México, es decir, los poliquetos son el grupo dominante (~50 %), seguido de los artrópodos (~26%-47 %) y los moluscos (~10 %) (Cinvestav, 2020). Por el contrario, según los datos disponibles en el SNIB, los moluscos y los

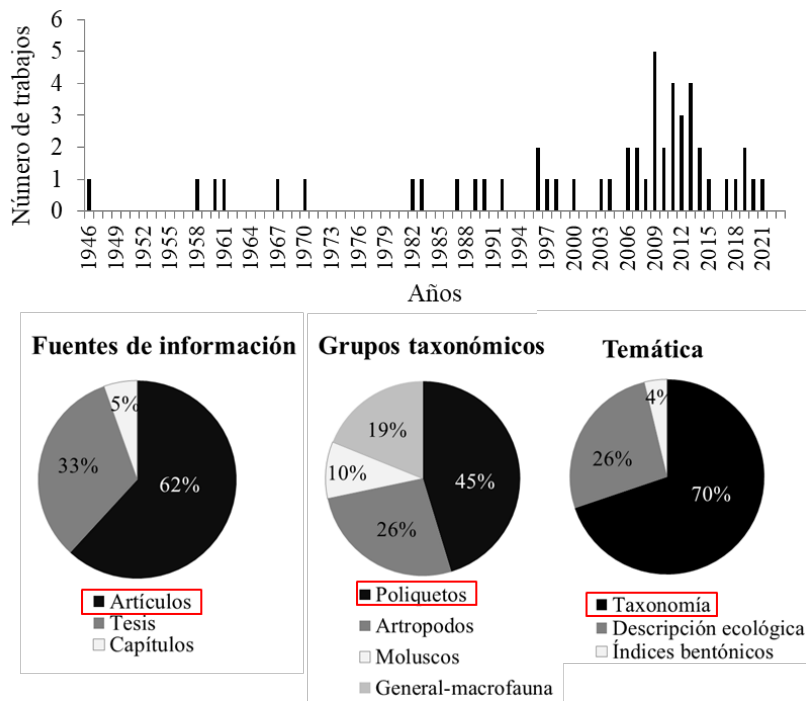


Figura 3. Recopilación de estudios sobre la infauna bentónica en el CASGM (actualización febrero 2024). Las descripciones marcadas con rojo tienen los mayores porcentajes. Fuentes consultadas: bases digitales de información científica (<http://www.webofknowledge.com>) y portales bibliotecarios (Universidad Veracruzana <https://cdigital.uv.mx/>, UNAM <http://bibliotecas.unam.mx>).

artrópodos como anfípodos y tanaidáceos muestran una escasa representatividad (1.4 % y <1 %, respectivamente); no obstante, los poliquetos muestran una alta representación de la infauna (46 %). En cuanto a los grupos más estudiados por las institucio-

nes académicas, los poliquetos han sido los más reportados (45 %), aunque, también los artrópodos como ostrácodos, peracáridos y anfípodos tienen una buena representación (26 %) (figura 3).

Integración y estandarización de la información

La representatividad de la red de la zona costera y marina del golfo de México obedece a un diseño de muestreo establecido por la industria petrolera para evaluar el impacto de dichas actividades sobre la biodiversidad marina (Quintero-Mármol *et al.*, 2003; Pe-

ters *et al.*, 2021). Lo que los métodos de recolección de las muestras de sedimento para el análisis de la infauna bentónica han sido los mismos, aunque las campañas las hayan realizado diferentes instituciones científicas en los últimos 30 años (tabla 1). Esto per-

mite la comparación en las evaluaciones de los índices bentónicos y su uso por parte de los actores clave en el diseño de estrategias de conservación (*e.g.* CONANP, SEMARNAT).

En cuanto a los datos provenientes del SNIB, aunque ha variado el tipo de dispositivo de muestreo (*e.g.* draga petite Ponar, Smith-McIntyre) los datos son comparables porque el tamaño de la muestra es representativo de la infauna ($> 0.0236 \text{ cm}^2$), puesto que se analizan los primeros cinco centímetros del sedimento superficial. En términos de la evaluación de la salud bentónica esta fracción (5 cm) es adecuada para estudiar la composición, abundancia y distribución espacial de la infauna (Borja & Tunberg, 2011). Tanto los datos provenientes de las campañas oceanográficas y del SNIB son representativos de los fondos blandos del CASGM (figura 2). Por lo que este corredor biológico puede funcionar como áreas de estudio para la colaboración entre científicos y los tomadores de decisiones en el desarrollo y aprendizaje de la información, y posteriormente, su replicación en otras regiones (Borja *et al.*, 2024).

Los índices bentónicos como *ambi* y *m-ambi* pueden ser integrados en métodos holísticos como el NEAT (*Nested Environmental status Assessment Tool*), el cual considera múltiples indicadores del ecosistema a diferentes escalas espaciales y temporales. Este tipo de métodos evalúa el estado de salud con base científica que permite guiar el proceso de gestión para informar la toma de decisiones; el análisis se realiza mediante un software gratuito y el resultado cuenta con un intervalo de confianza para cada componente evaluado (*e.g.* bentos, fitoplancton, peces) (Borja *et al.*, 2016).

Los datos de la infauna bentónica pueden ser integrados con otros conjuntos de datos como los ambientales y de contaminantes, mismos que se midieron en las campañas oceanográficas relativas a los servicios de la industria petrolera y en los proyectos registrados en el SNIB (*e.g.* de León-González, 2002; Quintero-Mármol *et al.*, 2003; Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2023).

Una vez que se cuente con los datos, se debe sistematizar la información, ya que los datos generados fueron discontinuos en el espacio y tiempo (figura 4).

La construcción de indicadores biológicos se basa en la asignación de los grupos ecológicos (nivel de sensibilidad y tolerancia) a cada especie de la infauna bentónica. Las abundancias de estos grupos ecológicos servirán para calcular los índices bentónicos *AMBI* y *M-AMBI*, cuyo software es gratuito y la lista de especies cuenta con más de 11 mil taxones de los océanos a escala global (<https://ambi.azti.es/>). Además de los índices *AMBI* y *M-AMBI* se pueden integrar otros componentes del ecosistema dentro del método holístico NEAT.

La inclusión de otros datos como los ambientales (*e.g.* textura de sedimento) permitirá caracterizar ambientes sedimentarios, dado que cada tipo de hábitat tiene diferentes ensamblajes de faunísticos con características estructurales y funcionales (Basset *et al.*, 2013). Posteriormente, dentro de cada hábitat se podrán establecer condiciones de referencia, que representan las más saludables o con menor grado de perturbación, en términos de la infauna bentónica. Por tanto, los resultados de los índices bentónicos podrán ser comparables entre los diferentes tipos de hábitats del CASGM.

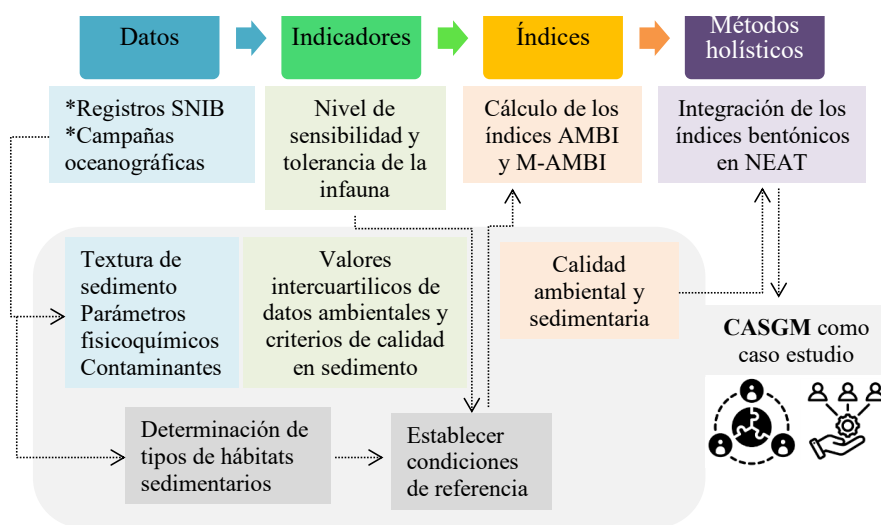


Figura 4. Modelo conceptual en la generación de datos, indicadores e índices para su integración en métodos holísticos. SNIB; AMBI, M-AMBI; NEAT.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos (materia orgánica, oxígeno disuelto, potencial redox) y contaminantes (metales, hidrocarburos), se podrán determinar indicadores ambientales y de calidad sedimentaria que representen medidas cuantificables como variables de diagnóstico (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2018). Adicionalmente, se podrán usar indicadores socioeconómicos

(datos disponibles en <https://datos.gob.mx/>) para calcular índices de presión y relacionarlos con el estado ecológico bentónico (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2021). Los resultados generados pueden ser de utilidad para los tomadores de decisiones en la regulación de las actividades humanas sobre el CASGM (figura 4).

Interfaz ciencia y política

Para que en México, y en específico en el CASGM, existan criterios legales sobre la calidad de los fondos marinos y costeros, se requiere de colaboraciones multidisciplinarias y una de las vías metodológicas se explicó anteriormente (figura 4). Recientemente, Palacios-Abrantes *et al.* (2019) promovieron los mecanismos de recapitulación y sistematiza-

ción de metadatos entre instituciones científicas y la CONABIO, lo que generó el SIMAR, que está basado en geointeligencia bioinformática que integra algoritmos, herramientas tecnológicas y análisis en respuesta a los cambios globales y a la variabilidad climática del país (<https://simar.conabio.gob.mx/>). Dentro de sus alcances en el bienestar de la

sociedad se tiene, de forma operacional, los sistemas de alerta temprana: blanqueamiento de corales, sargazo pelágico y mareas rojas (<https://simar.conabio.gob.mx/alertas/>). La constitución de esta plataforma digital permite que herramientas como los índices bentónicos AMBI y M-AMBI, y métodos holísticos tengan un acceso directo para su uso por los tomadores de decisiones para evaluar y predecir los impactos de las múltiples presiones en el CASGM.

Existen dificultades en la disponibilidad y acceso de los datos de la infauna bentónica para ser analizados y proyectados dentro de un contexto de evaluación ecosistémica (figura 4), un ejemplo de esto corresponde a la agencia regulatoria como la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA). De acuerdo con la Reforma Energética, en el año 2015 se creó la ASEA para emitir regulaciones y normativas en materia de seguridad industrial, operativa y de protección al medio ambiente (DOF, 2020).

La ASEA se encargó de establecer los requisitos para que las empresas adjudicadas con áreas contractuales (zonas donde se pretende realizar actividades petroleras) presentaran una Línea Base Ambiental (LBA, condiciones ambientales del área previo al inicio de las actividades del contrato). Si bien esta guía se trata de un documento no vinculante, al formar parte del contrato de los regulados, el desarrollo de la LBA es de carácter obligatorio. Entre los componentes de la LBA se tienen características fisicoquímicas, biológicas y toxicológicas de agua y sedimento marino (<https://rondasmexico.gob.mx/esp/contratos/>).

La LBA tiene como objetivo reconocer daños ambientales y preexistentes por medio

del cálculo del índice de incidencia, el cual resulta impreciso y subjetivo, porque para su cálculo requiere de atributos como la reversibilidad (resiliencia), persistencia, alcance, magnitud, etc. Responder a estos atributos es difícil, porque los muestreos solo se realizan una vez (como tener una fotografía del lugar) y no corresponden a un monitoreo a largo plazo. Además, la ASEA solicita determinar qué sitios exceden algún criterio de contaminación por metales e hidrocarburos, lo cual es paradójico porque en México no existen dichos criterios como lo hay por parte de Estados Unidos (Buchman, 2008).

Este tipo de problemas en la evaluación de los impactos podrían solventarse con el uso de índices bentónicos como AMBI y M-AMBI, los cuales han sido utilizados dentro de los estudios ambientales de PEMEX desde 2012, pero recientemente calibrados y validados para el golfo (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2020).

Entre diciembre de 2014 y septiembre de 2017, se generó información de los componentes de las LBA de al menos 1,392 estaciones de muestreo a lo largo y ancho del sur del golfo de México (<https://rondasmexico.gob.mx/esp/contratos/>). Dicha información permanece en resguardo de la ASEA, sin posibilidad de ser analizada por especialistas ajenos a los regulados, debido a cláusulas de confidencialidad en los contratos con la Comisión Nacional de Hidrocarburos. Esto resulta contradictorio con las atribuciones de la misma agencia, sobre aportar elementos técnicos a las autoridades competentes para la generación de políticas de protección del medio ambiente, en específico en el artículo 5 de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al

Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LANSI.pdf>).

Ante este escenario limitado al acceso de información, se optó por solicitar un subconjunto de bases de datos generadas durante el servicio “Campaña Oceanográfica Matamoros-Tuxpan ductos Texas Tuxpan 2016” (folio 331002523000586) a la ASEA, por medio del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información (INAI). Las respuestas de la ASEA ante las solicitudes sobre dichas evaluaciones resultaron restrictivas, ya que se recibió la respuesta de que no se encontró ningún archivo con ese nombre; sin embargo, la ASEA dio acceso al estudio de riesgo y la autorización del impacto ambiental en el siguiente link <https://www.semarnat.gob.mx/gobmx/transparencia/cons-tramite.html> con el número de expediente 28TM2016G0015. Con base en este estudio, se pudo verificar que se realizaron estudios taxonómicos y ecológicos descriptivos de la infauna bentónica; así como el análisis

de la textura de sedimento, parámetros físico-químicos y contaminantes en sedimento. Dentro de esta respuesta, la ASEA informó que los encargados de autorizar el uso de los datos son quienes los generaron (en este caso QV Gestión Ambiental, s.c.), ya que la ASEA se encuentra impedida jurídicamente para autorizar el uso de la información.

Esto demuestra un gran vacío de colaboración entre las instituciones científicas y los tomadores de decisiones, en este caso la ASEA, lo que dificulta realizar evaluaciones de los impactos, porque no existe un correcto uso de metodologías que sean robustas y precisas. En ausencia de un cambio en este tipo de cláusulas, el valor de la información generada en las LBA, se reduce a ser un mero trámite que cumplir para los regulados, ignorando las atribuciones que la agencia tiene como, por ejemplo, la colaboración interdisciplinaria, emitir criterios de calidad, diseñar protocolos ante emergencias químicas, etc. (<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LANSI.pdf>).

Índices bentónicos para el diseño de políticas públicas

De acuerdo con la Cámara de Diputados del Estado Mexicano, una política pública “implica el establecimiento de una o más estrategias orientadas a la resolución de problemas públicos, y/o a la obtención de mayores niveles de bienestar social, resultantes de procesos decisionales tomados a través de la coparticipación de gobierno y sociedad civil, en donde se establecen medios, agentes y fines de las acciones a seguir para la obtención de los objetivos señalados” (Servicio de Investigación y Análisis, Cámara de Dipu-

tados, 2024). En este sentido, la implementación de índices bentónicos como AMBI y M-AMBI en métodos holísticos permitirá establecer criterios legales para evaluar el estado de salud del CASGM, lo que ayudará a los gestores o a las agencias de protección a tomar decisiones informadas sobre las medidas de conservación.

En México, el uso de indicadores se ha limitado a la evaluación de la calidad de agua de lagos y ríos, utilizando indicadores como la demanda bioquímica de oxígeno, nutrien-

tes, coliformes fecales, etc. Esta información ha sido recopilada en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) (http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html); sin embargo, en la sección de Mares y Costas las especies indicadoras del estado ambiental marino se refieren a las que están incluidas en la NOM-059, que en su mayoría se trata de especies de mamíferos, aves, peces e invertebrados de importancia comercial. Ante este panorama general, el uso y aplicación de los índices bentónicos puede cubrir este vacío de información en estas bases de datos del SNIARN para mejorar el diseño de estrategias que tengan como objetivo la conservación del CASGM.

Por otra parte, se puede establecer colaboraciones con el poder legislativo, una de ellas es contactar a los diputados de la Comisión de Ciencia y Tecnología que existe para cada entidad federativa (<https://www.legisver.gob.mx/Inicio.php?p=comisiones>). Una vez establecido el contacto, la información científica puede ser presentada para elaborar una iniciativa de ley (*e.g.* modificación de la Ley de Hidrocarburos para establecer criterios de contaminación en sedimentos marinos), puntos de acuerdo (*e.g.* Exhortar a la ASEA para utilizar herramientas o metodologías validadas científicamente), y políticas públicas (*e.g.* especificar las rutas metodológicas para evaluar los impactos humanos, en la actualización de la Política Nacional de Mares y Costas de México (PNMCM)) (Hernández-Mondragón, 2023).

Es importante considerar ante estos procesos legislativos, que los científicos requieren de constancia en la construcción de redes colaborativas y de confianza con los tomadores

de decisiones. Recientemente, la Asociación Mexicana para el Avance de la Ciencia (AMEXAC) ha realizado trabajos para cubrir este nicho de oportunidad en reducir la brecha de la interfaz ciencia y política (<https://www.amexac.mx/>). Por lo que su capacitación y colaboración puede ser de utilidad en el impulso de los índices bentónicos para el diseño de políticas públicas.

Aquí se muestra una propuesta en el proceso colaborativo entre los diferentes sectores de la sociedad (científicos, políticos, tomadores decisiones, asociaciones civiles) para determinar criterios legales de calidad en los fondos marinos, con bases científicas (figura 5).

Las primeras colaboraciones son las académicas, que permitan usar los datos de la infauna bentónica (*e.g.* tesis, campañas oceanográficas), estos datos son sistematizados en la construcción de indicadores, índices y métodos holísticos (figura 4). Posteriormente, los resultados generados, como la lista de la funcionalidad de la infauna y las evaluaciones de los índices bentónicos, pueden contribuir a los metadatos del SIMAR, principalmente en la generación de conocimiento básico como en el diseño de sistemas de alerta del estado ecológico bentónico (*e.g.* <https://simar.conabio.gob.mx/alertas/>).

Para lograr esto, se requiere de añadir los niveles de sensibilidad y tolerancia de las especies de la macrofauna y proporcionar las evaluaciones de los índices bentónicos a través del registro en la plataforma del SIMAR. En este mediano plazo, se requiere involucrar a los diferentes tomadores de decisiones clave dentro del CASGM, para identificar sus necesidades y vacíos de aplicación metodológica de evaluación. El trabajo debe bene-

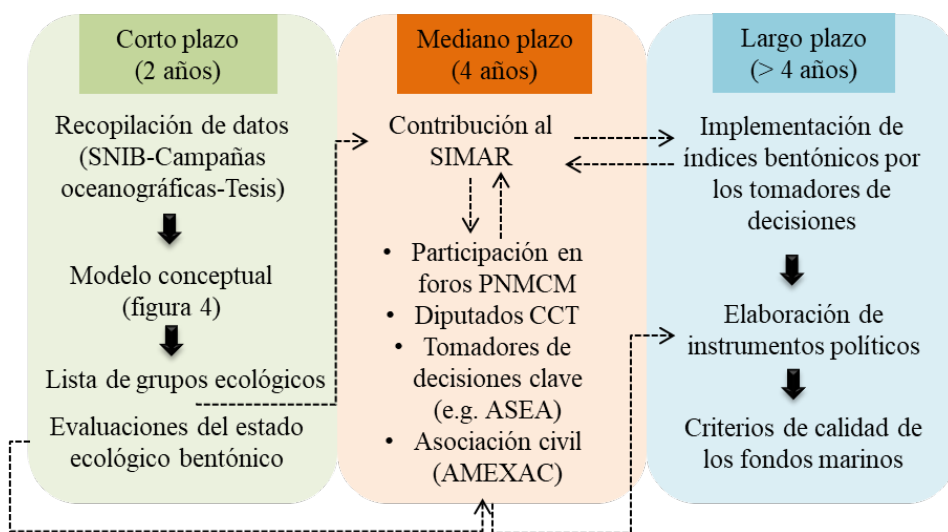


Figura 5. Proceso colaborativo para el establecimiento de criterios de calidad en los fondos marinos a partir de índices bentónicos. SNIB; SIMAR; PNMCM, Política Nacional de Mares y Costas de México; CCT, Comisión de Ciencia y Tecnología; ASEA; AMEXAC.

ficiar a las diferentes partes colaborativas como por ejemplo participar en los foros de actualización de la PNMCM, contactar a los diputados de las comisiones de ciencia y tecnología estatal, involucrar a los tomadores de decisiones en conjunto con la AMEXAC a través de la Academia Joven de México

(<https://www.amexac.mx/academia-joven-de-m%C3%A9xico>) (figura 5). Por lo que los índices bentónicos deben ser plasmados como herramientas de diagnóstico ambiental en los diferentes ámbitos ante los sectores socioeconómicos (e.g. CINVESTAV, 2020b).

Conclusión

El estudio de la infauna bentónica en México se ha generado principalmente por instituciones académicas que han realizado servicios técnicos al sector energético en los últimos 30 años y aquellas financiadas por la CONABIO, con registros de más de 80 años; sin embargo, el acceso a este tipo de infor-

mación está limitado o es restrictivo, impidiendo diseñar o aplicar herramientas de evaluación. Esto dificulta considerablemente el diagnóstico adecuado del estado de salud de los mares y costas, e incide en la falta de criterios legales de los fondos marinos.

Consideraciones finales

En este trabajo se propone un modelo teórico, basado en la construcción y análisis de datos en indicadores, índices y métodos holísticos, para interpretar los resultados y comunicar la información a los tomadores de decisiones. Este tipo de gestiones basadas en ecosistemas permitiría a los tomadores de decisiones identificar diferentes situaciones de sostenibilidad a lo largo del CASGM, para enfocar los esfuerzos de conservación. Adi-

cionalmente, su aplicación puede ser replicada en otras regiones de México, así como implementar el uso de otros componentes biológicos (peces, pastos marinos, fitoplancton, etc.) para una mayor retroalimentación a los métodos holísticos. Este modelo conceptual refleja que el estudio de la infauna bentónica tiene una incidencia de aplicación en el uso de evidencia científica y en el diseño regulatorio.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de Estancia Posdoctoral por México otorgada a NASA como parte del proyecto titulado “Indicadores de conectividad ecológica de la fauna bentónica en el Co-

redor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México” (2606407). Este trabajo es parte del proyecto CONAHCYT CF2019/39553 y contó con el apoyo de FORDECYT-PRONACES F003.

Literatura citada

- Basset, A., E. Barbone, A. Borja, M. Elliott, G. Jona-Lasinio, J. Marques, K. Mazik, I. Muxika, J. M. Neto, S. Reizopoulou I. Rosati & H. Teixeira, 2013. Natural variability and reference conditions: setting type-specific classification boundaries for lagoon macroinvertebrates in the Mediterranean and Black Seas. *Hydrobiologia*, 704: 325-345. <https://doi.org/10.1007/s10750-12-1273-z>
- Birk, S., W. Bonne, A. Borja, S. Brucet, A. Courrat, S. Poikane, A. Solimini, W. Van de Bund, N. Zampoukas, & D. Hering, 2012. Three hundred ways to assess Europe’s surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 18:31-41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
- Borja, A., J. Franco, Y. Pérez, 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos with European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40:1100-1114.
- Borja, A., S. Bricker, D. Dauer, N. Demetriades, J. Ferreira, A. Forbes, P. Hutchings, X. Jia, R. Kenchington, J. Marques, & C. Zhu. 2008. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide. *Marine Pollution Bulletin*, 56:1519-1537. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.07.005>

- Borja, A. & B. G. Tunberg. 2011. Assessing benthic health in stressed subtropical estuaries, Eastern Florida, USA using AMBI and M-AMBI. *Ecological Indicators*, 11:295-303. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.05.007>
- Borja, A., S. Marín, I. Muxika, L. Pino & J. Rodríguez, 2015. Is there a possibility of ranking benthic quality assessment indices to select the most responsive to different human pressures? *Marine Pollution Bulletin*, 97:85-94. [10.1016/j.marpolbul.2015.06.030](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.030)
- Borja, A., M. Elliott, J. Andersen, T. Berg, J. Carstensen, B. Halpern, A. Heiskanen, S. Korpinen, J. Lowndes, G. Martin & N. Rodríguez-Ezpeleta, 2016. Overview of integrative assessment of marine systems: the Ecosystem Approach in practice. *Frontiers in Marine Science*, 3:20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00020>
- Borja, A., M. Elliott, H. Teixeira, V. Stelzenmüller, S. Katsanevakis, M. Coll, I. Galparsoro, S. Franchetti, N. Papadopoulou, C. Lynam, T. Berg, J. Andersen, J. Carstensen, M. Leal & M. Uyarra, 2024. Addressing the cumulative impacts of multiple human pressures in marine systems, for the sustainable use of the seas. *Frontiers in Ocean Sustainability*, 1:1308125. <https://doi.org/10.3389/focusu.2023.1308125>
- Buchman, M., 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-01. Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle WA, USA. 34 pp. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327/noaa_9327_DS1.pdf (acceso 8 febrero 2024)
- Cinvestav, 2020. Campaña Oceanográfica 2020. PEMEX Exploración y Producción RMNE/Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional- Unidad Mérida (Reporte técnico). 412 pp.
- Cinvestav, 2020b. Diagnóstico Ambiental del sur del Golfo de México: proyección 2016-2019. PEMEX Exploración y Producción RMNE/Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida (Reporte técnico). 124 pp.
- Dauvin, J., G. Bellan & D. Bellan-Santini, 2010. Benthic indicators: from subjectivity to objectivity - Where is the line? *Marine Pollution Bulletin*, 60:947-953. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.028>
- De León-González, J., 2002. Poliquetos litorales de la región norte y centro del estado de Veracruz. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. S035. México, D. F. 10 pp.
- DOF, 2020. Diario Oficial de la Federación. Manual de organización general de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector de Hidrocarburos. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5591102&fecha=03/04/2020# gsc.tab=0
- Giere, O. & M. Schratzberger, 2023. New horizons in meiobenthos research: profiles, patterns, and potentials. Springer Publ. USA. 407 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-21622-0>
- Gil-Agudelo, D., C. Cintra-Buenrostro, J. Brenner, P. González-Díaz, W. Kiene, C. Lusic & H. Pérez-España, 2020. Coral reefs in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: conservation status, challenges, and opportunities. *Frontiers in Marine Science*, 6:807. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00807>
- Hernández-Mondragón, A., 2023. Construyendo puentes: guía para la colaboración entre academia y poder legislativo. Cinvestav. Ciudad de México. Reporte técnico. 66 pp.
- Kendzierska, H., K. Lukawska-Matuszewska, D. Burska & U. Janas, 2020. Benthic fluxes the influence of macrobenthic fauna on the periphery of the intermittently hypoxic zone in the Baltic Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 530:151439. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2020.151439>

- Lacoste, E., A. Piot, P. Archambault, C. McKindsey & C. Nozais, 2018. Bioturbation activity of three macrofaunal species and the presence of meiofauna affect the abundance and composition of benthic bacterial communities. *Marine Environmental Research*, 136:62-70. <https://doi.org/10.1016/j.mar-envres.2018.02.024>
- Muxika, I., A. Borja & J. Bald, 2007. Using historical data, expert judgment, and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55:16-29. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.05.025>
- O'Hara, C., M. Frazier & B. Halpern, 2021. At-risk marine biodiversity faces extensive, expanding, and intensifying human impacts. *Science*, 372:84-87. <https://doi.org/10.1126/science.abe6731>
- Palacios-Abrantes, J., A. Cisneros-Montemayor, M. Cisneros-Mata, L. Rodríguez, F. Arreguín-Sánchez, V. Aguilar, S. Domínguez-Sánchez, S. Fulton, R. López-Sagástegui, H. Reyes-Bonilla, R. Rivera-Campos, S. Salas, N. Simoes & W. Cheung, 2019. A metadata approach to evaluate the state of ocean knowledge: strengths, limitations, and application to Mexico. *PLoS ONE*, 14:e0216723. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216723>
- Perera-Valderrama, S., L. Rosique-de la Cruz, H. Caballero-Aragón, S. Cardeira-Estrada, R. Martell-Dubois & R. Ressler, 2023. Mexico on track to protect 30% of its marine area by 2030. *Sustainability*, 15:14101. <https://doi.org/10.3390/su151914101>
- Peters, E., S. Herzka & J. Herguera, 2021. Tomo Introducción. Pp. 7-9. *In*: Herzka, S., A. Zaragoza-Álvarez, E. Peters & G. Hernández-Cárdenas, G. (eds). Atlas de Línea Base Ambiental del Golfo de México. CIGOM, CICESE. Ensenada, Baja California, México. 209 pp.
- Quintero-Mármol, M., M. Herrera-Rodríguez & G. Olguín-Pascualli, 2004. Monitoreo ambiental de la actividad petrolera en el sur del Golfo de México. pp. 589-610 *In*: Rivera-Arriaga, E., G. Villalobos, I. Azuz-Adeath & F. Rosado May (eds). El Manejo costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654 pp.
- Raymond, C., 2022. Ecological succession of benthic macrofauna following disturbance: Effects of contaminants and in situ sediment remediation (Doctoral dissertation, Department of Ecology, Environment and Plant Sciences, Stockholm University).
- Santibañez-Aguascalientes, N., A. Borja, J. Kuk-Dzul, J. Montero-Muñoz & P. Ardisson, 2018. Assessing benthic ecological status under impoverished faunal situations: a case study from the southern Gulf of Mexico. *Ecological Indicators*, 91:679-688. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.048>
- Santibañez-Aguascalientes, N., A. Borja, J. Montero-Muñoz, M. Herrera-Dorantes & P. Ardisson, 2020. Setting reference conditions to assess the ecological status of the sublittoral and bathyal benthic communities of the southern Gulf of Mexico. *Ecological Indicators*, 111:105964 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105964>
- Santibañez-Aguascalientes, N., A. Borja & P. Ardisson, 2021. Sustainability situations for the southern Gulf of Mexico seafloor, based on environmental, benthic, and socioeconomic indicators. *Science of The Total Environment*, 797:147726 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147726>
- Santibañez-Aguascalientes, N., A. Borja & P. Ardisson, 2023. Assessing the large-scale and long-term changes in the southern Gulf of Mexico benthic ecological status under natural and human-induced disturbances. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*. 283:108282. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108282>
- Schwing, P., P. Montagna, S. Joye, C. Paris, E. Cordes, C. McClain, J. Kilborn & S. Murawski, 2020. A synthesis of deep benthic faunal impacts and resilience following

- the deepwater horizon oil spill. *Frontiers in Marine Science*, 7:560012. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.560012>
- SEMARNAT, 2013. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/ver/resolutivos/2013/30VE2013V0029.pdf>
- Snelgrove, P., 1997. The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes. *Ambio*. 26:578-83. <http://www.jstor.org/stable/4314672>
- van de Wolfshaar, K., P. van Denderen, T. Schellekens & T. van Kooten, 2020. Food web feedback drives the response of benthic macrofauna to bottom trawling. *Fish and Fisheries*, 21:962-972. <https://doi.org/10.1111/faf.12481>
- Walag, A., 2022. Understanding the world of benthos: an introduction to benthology. pp. 1-19. *In*: Godson, P, S. Vincent & S. Krishnakumar (eds). Ecology and Biodiversity of Benthos, Elsevier. 369 pp. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01778-5>

**NUEVO CONOCIMIENTO SOBRE EL CORREDOR ARRECIFAL
DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO:
INTEGRANDO LOS AMBIENTES COSTEROS**

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Instituto EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche

Composición , diseño y formación a cargo de Jorge Gutiérrez

abril 2025

ISBN 978-607-8907-34-2

DOI 10.26359/EPOMEX022025