



Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur

Aportaciones de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorado 2008-2012

.....

Editores: Mónica Pérez-Ramírez y Salvador E. Lluch-Cota



Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur

Aportaciones de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorado
2008-2012

Mónica Pérez-Ramírez y Salvador E. Lluch-Cota

Editores



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.

Diseño gráfico
Liliana Ramírez B.

Diseño editorial
Mónica Pérez-Ramírez

Edición de textos en inglés
Diana Leticia Dorantes Salas

**Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur.
Aportaciones de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorado 2008-2012.**
Editado por Mónica Pérez-Ramírez y Salvador E. Lluch-Cota.

Primera edición 2012
D.R.© Publicación de divulgación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Instituto Politécnico Nacional No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. La Paz, Baja
California Sur, México, 23096

ISBN 978-607-7634-07-2

Hecho en México

“Las opiniones expresadas por los autores (textos, figuras y fotos) no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación”

Contenido

Agradecimientos

Presentación

Tutores participantes

Primera Parte

MIDIENDO LA BIODIVERSIDAD

Capítulo 1	1
Desarrollo y evaluación de métodos moleculares para la detección e identificación de dinoflagelados tóxicos y nocivos en las costas de Baja California Sur Angélica Herrera-Sepúlveda	
Capítulo 2	25
Efecto de <i>Gymnodinium catenatum</i> (Graham, 1943) productor de toxinas paralizantes (PSP) sobre la expresión genética del ostión del Pacífico <i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793) Norma García-Lagunas	
Capítulo 3	51
Respuesta del ostión del Pacífico <i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793) a la exposición aguda y sub-crónica a <i>Prorocentrum lima</i> (Ehrenberg, 1860) Stein 1975, productor de toxinas diarreicas, mediante el seguimiento de la expresión de genes específicos Reyna Romero	
Capítulo 4	76
Asincronía en la especiación asociada con el levantamiento del Istmo de Panamá: el caso de los haemúlidos Jose Tavera	

	Capítulo 5	
Ecomorfología y evolución de la familia Pomacentridae (Perciformes: Labroidae) en el Pacífico Oriental		94
	Rosalía Aguilar-Medrano	
	Capítulo 6	
Composición temporal del fitoplancton en ambiente de arrecife costero en el sureste de la Península de Baja California		122
	Alejandra Torres-Ariño	
	Capítulo 7	
Variabilidad temporal de los ensamblajes de macroalgas en arrecifes rocosos de Bahía de Loreto		145
	Alejandra Mazariegos-Villarreal	
	Capítulo 8	
Macroalgas en bancos abuloneros de la costa occidental de Baja California Sur		165
	Alma Rosa Rivera-Camacho	
	Capítulo 9	
Variación espacio-temporal de la densidad de <i>Acanthaster planci</i> (Echinodermata: Asteroidea) en el Golfo de California		183
	Daniela A. Murillo-Cisneros	
	Capítulo 10	
Estructura comunitaria de asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) en Bahía de Loreto		199
	Fabián Cervantes-Gutiérrez	
	Capítulo 11	
Variación estacional, contenido energético y biomarcadores lipídicos –ácidos grasos- de la comunidad planctónica de Balandra, Baja California Sur en un ciclo anual		218
	Nayeli Pedroza-Martínez	

	Capítulo 12	
Variación espacial de la estructura de las comunidades de peces de arrecife en la costa oeste del Golfo de California		230
	Alejandro Aldana-Moreno	

	Capítulo 13	
Señales isotópicas del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de <i>Megastraea undosa</i> (Wood, 1828), <i>Megathura crenulata</i> (Sowerby, 1825) y algunas de sus fuentes de alimento		245
	M. Magali Gómez-Valdez	

	Capítulo 14	
Dieta natural de <i>Megathura crenulata</i> (Sowerby, 1825) en arrecifes rocosos de la costa Pacífico de Baja California Sur		256
	Fatima Aguilar-Mora	

	Capítulo 15	
Condición fisiológica de la almeja generosa, <i>Panopea globosa</i> , en Bahía Magdalena, BCS		269
	Laura Margarita Cruz-Gómez	

	Capítulo 16	
Relación trófica entre los peces de arrecife y manglar en La Paz, BCS		284
	Samuel Calderón-Liévanos	

Segunda Parte

RELACIONANDO LA BIODIVERSIDAD CON LA VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS

	Capítulo 17	
Macroalgas en el arrecife del Canal de San Lorenzo BCS después del impacto del buque Lázaro Cárdenas II y el huracán Juliette		296
	Tonatiuh Chávez-Sánchez	

	Capítulo 18	
Revisión del conocimiento actual sobre florecimientos macroalgales en lagunas costeras del Golfo de California		310
	Alejandra Piñón-Gimate	

	Capítulo 19	
Reclutamiento coralino en un arrecife restaurado en La Paz, BCS		330
	Rafael Andrés Cabral-Tena	
	Capítulo 20	
Elementos de dinámica poblacional para el manejo de peces damisela del Golfo de California		346
	Julio Ayala-Aguilar	
	Capítulo 21	
Análisis de la comunidad íctica posterior a un evento de perturbación antropogénica en arrecife de San Lorenzo, Bahía de la Paz, BCS		359
	Briseida Mejía-Torres	
	Capítulo 22	
Estructura de la comunidad íctica de manglar en tres sistemas (Balandra, Enfermería y Zacatecas) y dos periodos (1980 y 2010) en relación con el grado de influencia antrópica		375
	Francisco J. López-Rasgado	
	Capítulo 23	
Pesca incidental en la pesquería de pelágicos menores en el noroeste de México		399
	Sergio Macías-Mejía	
	Capítulo 24	
Índice de fragilidad ecológica de los ecosistemas bentónicos ante el impacto de la pesca de arrastre		412
	Pablo Vega-García	
	Capítulo 25	
Certificación pesquera en países en desarrollo: tópicos recientes y perspectivas de implementación		428
	Mónica Pérez-Ramírez	

Agradecimientos

Agradecemos a CONACYT, ya que su apoyo fue primordial para la realización de este libro. Por un lado, la mayoría de los autores fueron beneficiados con becas de posgrado. Por otra parte, el proyecto SEP-CONACYT 83339 *Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros* otorgó el financiamiento que permitió realizar parte de los estudios aquí presentados, y su integración. Otras fuentes importantes de subvención fueron: 1) proyecto SEP-CONACYT 83442 *Identificación molecular y estudio de la regulación de la expresión diferencial de genes, en el ostión del Pacífico Crassostrea gigas, en respuesta a exposición a toxinas marinas*; 2) proyecto CONACYT 50589 *Disponibilidad y aprovechamiento de macroalgas y pastos marinos en ecosistemas altamente productivos*; 3) proyecto CONABIO CT001 *Programa de monitoreo de la restauración de arrecife coralino afectado por el Buque Tanque Lázaro Cárdenas II, y de las comunidades arrecifales de la región del Parque de Loreto, Baja California Sur*; 4) proyecto CONACYT 126574 *Recursos pesqueros masivos de México ante el cambio climático*; 5) proyecto SIP 20121034 *Desempeño productivo de captura y económico-financiero de la pesca deportivo-recreativa de la zona de Los Cabos, B.C.S., México*; 6) proyecto COBI *Uso y manejo de especies de peces e invertebrados de ornato en el Parque Nacional Marino Bahía de Loreto* y 7) proyectos CONANP *Estudio técnico: Desarrollo microregional dentro del marco del área natural protegida Cabo San Lucas* y *Estudio técnico: Análisis y perspectivas para el desarrollo económico y diversificación de actividades dentro del marco del área natural protegida Cabo Pulmo*.

Expresamos nuestro agradecimiento a las instituciones donde los autores estudian y llevan a cabo sus investigaciones: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad

del Mar (UMAR) y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Así como a las instituciones nacionales y en el extranjero que se vinculan a este proyecto proveyendo expertos en diferentes disciplinas para la conformación de comités tutoriales: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) unidades Mazatlán y Guaymas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN (CICIMAR), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Instituto de Ecología (INECOL), Curtin University, Marine Biological Association (MBA), Universidad Nacional de Colombia, University of California, Université de Liège, UPMC Banyuls y SCRIPPS Institution of Oceanography (SIO).

No podemos dejar de reconocer las aportaciones que han brindado todos y cada uno de los integrantes de los comités tutoriales en CIBNOR: Bertha O. Arredondo Vega, José Alfredo Arreola Lizárraga, Felipe Ascencio Valle, Eduardo F. Balart Páez, Luis Felipe Beltrán Morales, Thelma Castellanos Cervantes, Pedro Cruz Hernández, Juan Antonio de Anda Montañez, Norma Y. Hernández Saavedra, Ana María Ibarra Humphries, Alfonso Maeda Martínez, Enrique Morales Bojórquez, Lourdes Morquecho Escamilla, Gopal Murugan, Alejandra Piñón Gimete, Elisa Serviere Zaragoza, María Teresa Sicard González y Dariel Tovar Ramírez.

Gracias a las personalidades que participan en los comités desde otras instituciones en México: Reyna Alvarado Jiménez, Francisco Becerril Bobadilla, Francisco Benítez Villalobos, Rolando Cardeña López, Gerardo Ceballos Corona, José de la Cruz Agüero, Efraín de Luna, Pablo del Monte Luna, Lloyd Findley, Alma Lilia Fuentes Farías, Silvia Alejandra García Gasca, Gustavo Hernández Carmona, Luis Hernández Moreno, Liliana Hernández Olalde, Eduardo Herrera Galindo, Sharon Herzka Llona, Volker Koch, Antonio López Serrano, Juan Manuel López Vivaz, Daniel Lluch Belda, Marco Antonio Medina,

Germán Ponce Díaz, Héctor Reyes Bonilla, Rafael Riosmena Rodríguez y Oscar Trujillo Millán. En el extranjero: Arturo Acero Pizarro (Colombia), Giacomo Bernardi (Estados Unidos), Jixin Chen (Reino Unido), Bruno Frédéricich (Bélgica), Philip A. Hastings (Estados Unidos), Linda Medlin (Francia), Bruce Phillips (Australia) y Declan Schroeder (Reino Unido).

El trabajo en campo, en laboratorio y en las colecciones fue apoyado por el personal técnico del CIBNOR: Jorge Angulo Calvillo (capítulos 11, 15, 22), Jesús Bautista Romero (15, 22, 23, 24), Horacio Bervera León (7, 15, 17, 19), Noemí Bocanegra Castillo (12, 21), Enrique Calvillo Espinoza (11, 22), Lucía Campos Dávila (4, 5, 12, 21), Laura Carreón Palau (11), Mario Cota Castro (7, 17, 19, 21), Roberto Hernández Herrera (15), Alejandra Mazariegos Villareal (8, 13, 14, 17), Carlos Pacheco Ayub (15, 22, 23, 24), Juan José Ramírez Rosas (7, 8, 13, 19, 21), Delia Irene Rojas Posadas (1, 2, 3, 6) y Arturo Sierra Beltrán (2, 3, 6). Asistencia en otras colecciones biológicas: José de la Cruz Agüero y Víctor Cota Gómez (CICIMAR), Rick Feeney (Los Angeles County Museum), Sandra J. Raredon (Museum of Natural History Smithsonian Institution) y H. J. Walker (SIO). Los autores también agradecen a los compañeros y amigos que participaron directa o indirectamente en los 25 estudios comprendidos en esta obra.

P r e s e n t a c i ó n

Diversos foros mundiales han resaltado la necesidad de conciliar la biodiversidad (entendida como la variedad de organismos y ecosistemas) con el factor humano puesto que la biodiversidad representa beneficios ecológicos y socioeconómicos para las generaciones actuales y futuras. Este libro es presentado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y financiado por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto SEP-CONACYT 83339 *Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros*. La obra compila una serie de tesis recientes que examinan la biodiversidad en los ambientes costeros de Baja California Sur y el Golfo de California. La importancia de estas contribuciones radica en generar dos vertientes de conocimiento para la región: por un lado, mediciones de biodiversidad, que abarcan desde número y composición de especies hasta identificación genética y dominios tróficos. Por otra parte, la relación entre biodiversidad y vulnerabilidad de los ecosistemas en el entendido que los factores ambientales y las actividades humanas provocan impactos y cambios en los ecosistemas y las especies que en ellos habitan.

La historia geológica y evolutiva, la interacción de condiciones ambientales y la diversidad de ecosistemas costeros hacen de Baja California Sur lugar de residencia estacional o permanente para un elevado número de especies acuáticas; algunas de ellas endémicas de la región, esto es, que no se encuentran en ninguna otra parte del mundo. Esta diversidad de ecosistemas costeros se debe a características geográficas, climáticas y topográficas propias de la región. Por ello la marcada diferencia entre ambientes de alta energía situados en el Océano Pacífico y ambientes protegidos en el Golfo de California. Unido a esto consideremos un grado todavía moderado de explotación humana y tendremos

modelos excepcionales de estudio: ecosistemas arrecifales coralinos y rocosos, sistemas submareales rocosos asociados a bosques de macroalgas, lagunas costeras y manglares, que han sido escenarios para la recolección o censos de organismos, el registro de parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, clorofila, nutrientes) y ensayos *in situ* con organismos móviles.

Contar con información que permita mejorar el entendimiento de la relación entre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas es importante para analizar procesos naturales, determinar beneficios y costos ambientales, y pronosticar la respuesta de los ecosistemas ante variaciones climáticas y presión antropogénica. Esta información biológica al interactuar con otras disciplinas (*p. ej.* administración, economía), debe funcionar como marco de referencia para proponer medidas de manejo en materia de biodiversidad tal y como lo sugieren distintos instrumentos y convenios internacionales. En nuestro país, múltiples dependencias federales y estatales, organizaciones no gubernamentales, universidades y centros públicos de investigación llevan a cabo estudios sobre biodiversidad.

Es así como el CIBNOR, en su carácter de centro público CONACYT, produce e integra conocimientos científicos sobre impactos ambientales y antropogénicos y prepara recursos humanos especializados en manejo y conservación de recursos naturales. El proyecto SEP-CONACYT 83339, así como otros proyectos asociados a la Línea Estratégica CIBNOR EP3 *Variabilidad y vulnerabilidad de ecosistemas marinos del noroeste mexicano*, apoyaron la generación de recursos humanos para alcanzar diferentes grados académicos. Sus aportaciones, que exhiben la frescura y energía de jóvenes comprometidos con su investigación, se vieron enriquecidas con la experiencia de sus comités tutoriales conformados por científicos nacionales e internacionales, fortaleciendo las redes de cooperación y la línea de investigación en CIBNOR.

El presente libro, resultado y muestra de lo arriba expuesto, está constituido por veinticinco capítulos organizados en dos partes que en conjunto ofrecen conocimiento científico y teórico sobre la diversidad de especies y su vulnerabilidad ante algunos eventos ambientales e impactos antropogénicos. En la primera parte, se exploran mediciones de biodiversidad en sistemas costeros empleando técnicas moleculares (genética) y métodos tradicionales (taxonomía, índices de variación y relaciones tróficas). Las técnicas moleculares aquí presentadas sirven para monitorear mareas rojas (proliferación de microalgas tóxicas) y sus efectos en mariscos dirigidos a consumo humano y con importancia económica para la región. También se utilizaron técnicas moleculares para estudiar las relaciones de parentesco entre especies de peces, bajo el fundamento de que este ensamblaje de especies es un modelo que aporta pistas sobre la evolución de la vida.

Ante la necesidad de cuantificar la biodiversidad y compararla temporal (épocas del año) y espacialmente (tipos de ecosistema), los Capítulos 6, 7 y 8 abordan la composición y la estructura de comunidades productoras primarias, es decir, productoras de oxígeno: el fitoplancton y las macroalgas mientras que los Capítulos 9 y 10 tratan sobre organismos depredadores de arrecifes de coral. Estos estudios permiten conocer qué especies están presentes, qué patrones exhiben y qué factores influyen en su distribución (temperatura, nutrientes, etc.). Para comprender como es la circulación de nutrientes y energía en algunos sistemas acuáticos, se realizaron análisis tróficos con moluscos y peces.

La segunda parte del libro trata sobre la comprensión del rol de la biodiversidad en el funcionamiento de diversos ecosistemas costeros y su vulnerabilidad considerando la influencia ambiental y/o antropogénica. Así, tenemos como agentes de cambio: el encallamiento de un buque, el paso del huracán Juliette, los florecimientos algales, la instauración de arrecifes artificiales, la extracción de peces de ornato y la pesca comercial. Los Capítulos 17, 18, 19 y 21 tocan

temas como la situación específica de algunos recursos en arrecifes rocosos y coralinos tras el impacto del huracán; la relación entre productores de oxígeno y nutrientes generados por actividad humana en las costas y las necesidades futuras de investigación. También se ha integrado un estudio de caso para examinar los cambios en la comunidad de peces a través de comparaciones espaciales y temporales en tres sitios con diferente grado de impacto humano (Capítulo 22).

En los últimos años, la explotación de recursos se ha intensificado incidiendo en la biodiversidad de los ecosistemas. Los dos capítulos finales presentan algunas aplicaciones que ya integran conocimientos previos en materia de biodiversidad e impactos, en este caso, producidos por la actividad pesquera. En primera instancia, se propone un índice que expresa la fragilidad ecológica de los ecosistemas bentónicos ante la pesca de arrastre. A continuación, la certificación, una herramienta de manejo pesquero reconocida internacionalmente cuyo objetivo es fomentar la pesca sustentable y el menor daño ambiental.

Suele aceptarse que sin investigación científica sobre la diversidad, que sin generar el conocimiento que permita comprender mejor la vulnerabilidad de los ecosistemas y, por ende, articular aproximaciones adecuadas e integrales a los mismos, toda explotación sustentable y la conservación misma serían inviables en el corto o mediano plazo. Es por ello que un libro como el presente, que comunica la investigación recientemente generada en el CIBNOR sobre esta temática, contribuirá a elucidar la respuesta de ecosistemas particulares ante el creciente aumento de la presión generada por las variaciones climáticas y el desarrollo humano.

Consideramos, pues, que el libro ha de ser de interés para todo aquél preocupado —y ocupado— en conocer, aprovechar y conservar la elevada biodiversidad costera de Baja California Sur.

Tutores participantes

Línea estratégica EP.3 CIBNOR y Proyecto SEP-CONACYT 83339

Bertha O. Arredondo Vega

Investigador Titular A del CIBNOR, trabaja el tema de metabolismo de ácidos grasos en fitoplancton marino y el papel que desempeñan como biomarcadores de cadena trófica (FATM, por sus siglas en inglés) en ecosistemas marinos costeros.
kitty04@cibnor.mx

Eduardo F. Balart Páez

Es biólogo por la Universidad Católica de Valparaíso, Maestro por la Universidad de Kyoto, y Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Su interés se ha centrado en el estudio de la biodiversidad, sistemática y ecología de los peces asociados a manglares, arrecifes, plataforma y talud continental; evaluación y biología de recursos pesqueros potenciales; así como en la ecología y restauración de arrecifes. Es autor de 60 publicaciones y en total ha dirigido 26 tesis de licenciatura hasta doctorado. Actualmente es Investigador Titular en el Programa de Ecología Pesquera, Curador de la Colección Ictiológica, y responsable del Laboratorio de Necton y Ecología de Arrecifes del CIBNOR. Es miembro del SNI Nivel I.
ebalart04@cibnor.mx

Liliana Hernández Olalde

Es Bióloga Marina (UABCS-2000), con Maestría en Manejo de Recursos Marinos (2003) y Doctorado en Ciencias Marinas (2008) otorgados por el CICIMAR-IPN; Estancia Posdoctoral CIBNOR (2011). Es candidata del SNI. Su investigación se enfoca en la reproducción de animales marinos, especialmente peces: determinación del sexo, maduración gonádica, comportamiento reproductivo y cuidado parental. Ha participado en diversos proyectos de investigación, publicado artículos en revistas especializadas y presentado trabajos en congresos nacionales e internacionales. Ha dirigido y participado en tesis de licenciatura y posgrado. En el programa de licenciatura (Biología Marina-UABCS) ha impartido cursos sobre biología celular y reproducción.
lilianah@uabcs.mx

Norma Y. Hernández Saavedra

Es Bióloga egresada de la FES Iztacala (UNAM). Estudio la Maestría en Ecología Marina en el CICIMAR (IPN) y el Doctorado en uso, manejo y preservación de los recursos naturales, con especialidad en Biotecnología, en el CIBNOR. Ha realizado estancias de investigación en Universidad de Oviedo, España y en el IGBMC (Université Louis Pasteur), en Francia. Es miembro del SNI Nivel II e Investigador Titular en el CIBNOR, donde imparte cátedra en Microbiología, Biología Molecular y Celular e Ingeniería Genética. Sus intereses de investigación son la biotecnología y la aplicación de técnicas moleculares para el aprovechamiento y manejo de recursos naturales. Sus proyectos han sido financiados por diversas fuentes, resultando en la publicación de artículos en revistas internacionales indexadas y en la formación de recursos humanos de nivel licenciatura, maestría y doctorado.

nhernan04@cibnor.mx

Salvador E. Lluch-Cota

Es Biólogo Marino por la UABCS, Maestro en Ciencias por el CICIMAR-IPN y Doctor en Ciencias por el CIBNOR. Se ha desempeñado como coordinador de varios proyectos de investigación en las áreas de variabilidad climática y sus efectos en recursos marinos. Cuenta con más de 25 publicaciones científicas internacionales, diversos capítulos de libro e informes técnicos. Ha dirigido cinco tesis de Licenciatura, cuatro de Maestría y cuatro de Doctorado. En 2007 fue acreedor del Premio Nacional de Ciencia en la categoría Científico Joven. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Pesquerías e integrante del SNI Nivel II.

slluch@cibnor.mx

Alejandra Piñón Gimete

Realizó estudios de posgrado en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Durante el doctorado trabajó con florecimientos macroalgales y su relación con nutrientes de tipo antropogénico en lagunas costeras del estado de Sinaloa. Ha participado en varios proyectos y comités tutoriales como investigador asociado en el CIBNOR. Actualmente, se encuentra en el segundo año de estancia posdoctoral en el mismo centro, bajo la dirección de la Dra. Elisa Serviere, desarrollando investigación sobre florecimientos macroalgales de la Bahía de La Paz. Es Candidata del SNI.

apinon@cibnor.mx

Elisa Serviere Zaragoza

Realizó estudios de licenciatura, maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la UNAM, en la línea de Botánica Marina. Trabajó como Profesor Asociado en el Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias, UNAM, y actualmente es Investigador Titular del CIBNOR y miembro del SNI Nivel II. Sus líneas de investigación son Ecología Marina y Ecología Trófica. Cuenta con 48 publicaciones, 7 capítulos de libro y un Catálogo Onomástico (Nomenclátor) de las algas bentónicas marinas de México. Ha participado en la formación de alumnos de licenciatura (12) y de posgrado (14). Desde 2009, es Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del CIBNOR.
serviere04@cibnor.mx



De izquierda a derecha: Eduardo F. Balart Páez, Elisa Serviere Zaragoza, Norma Y. Hernández Saavedra, Salvador E. Lluch-Cota y Liliana Hernández Olalde

Formación de recursos humanos.

Capítulo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Grado	D	D	D	D	D	D	M	L	L	L	L	M	L	L	M	L	L	P	M	L	L	D	M	M	D	
Estatus	c	c	c	c	t	c	t	t	t	t	c	t	t	t	c	c	t	c	t	c	c	c	t	t	t	
Bertha O. Arredondo Vega											d															
Eduardo F. Balart Páez				d	d			d	d	d	d				a		a	d	d		d	a				
Liliana Hernández Olalde*																d					d					
Norma Y. Hernández Saavedra			d	d	d																					
Salvador E. Lluch Cota						a				a					d	a				a		d	d	d	d	
Alejandra Piñón Gimate*												a					a									
Elisa Serviere Zaragoza								d	d				d	d	a		d	d			a					
Tutores en CIBNOR**	3	3	4	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Tutores externos	1	1	3	4	1	2	1	2	1	2	1	1	1	3	0	1	0	0	1	1	0	2	2	1	3	

* = Investigadores posdoctorantes del proyecto; ** = no incluye a los investigadores del proyecto; L = licenciatura; M = maestría; D = doctorado; P = posdoctorado; c = tesis en curso; t = tesis terminada; d = director de tesis; a = asesor de tesis.

Capítulo 24

Índice de fragilidad
ecológica de los ecosistemas
bentónicos ante el impacto
de la pesca de arrastre

P a b l o
V e g a - G a r c í a

CIBNOR
Registro CONACYT 265457

Resumen

La pesca de arrastre de fondo es una importante actividad económica que para 2005 representaba más del 27% de la captura global y tiene una amplia extensión en la plataforma continental a nivel mundial. A pesar de esto, existe una percepción negativa generalizada de esta actividad debida a la baja selectividad de los artes de pesca y las consecuencias del contacto de la red en el fondo marino, cuyos impactos negativos han sido ampliamente demostrados en una gran cantidad de investigaciones. En años recientes se han establecido patrones generales y algunas bases para la modelación de las perturbaciones, lo que ha enfocado la investigación en determinar los sitios y magnitudes en los cuales se pueden minimizar los impactos. Este trabajo integra información publicada y propone un índice que expresa la fragilidad ecológica de los ecosistemas bentónicos ante la pesca de arrastre, con particular aplicación para sitios donde existe poca información. El índice integra el tipo de fondo y un indicador de sensibilidad comunitario (ISC), además de un indicador de resiliencia conformado a partir de la razón producción-biomasa ($(P / B) B$). El índice se calculó a partir de información bibliográfica para cuatro ecosistemas alrededor del mundo (Norte del Golfo de California, Región Pacífico Norte de Baja California, Gran Barrera de Arrecife Australiano y Mar de Irlanda). Los resultados son congruentes con lo esperado ya que el índice reflejó mayor sensibilidad para las zonas gravosas y de arrecifes coralinos, mientras que zonas arenosas sometidas a la pesca de arrastre presentaron menor fragilidad.

Palabras clave: fragilidad ecológica, pesca de arrastre de fondo, ecosistema bentónico

Ecological fragility index of benthic ecosystems susceptible to bottom trawling

Abstract

Bottom trawling is an important economic activity that covers a large area on the continental shelf worldwide, and which represented over 27% of the total world catch in 2005. There is a widespread negative perception of this activity due to low selectivity and consequences of the net contact on the seafloor, and whose negative impacts have been amply demonstrated by a large amount of research over two decades. However, in recent years general patterns and foundations for disturbance modeling have been set, which allow focusing research on determining the sites and magnitudes to minimize impacts. This work integrates published information and proposes a Fragility Ecology Index for benthic ecosystems to trawling, with particular application for poor information sites. This Index integrates the type of bottom and a Community Sensitivity Indicator (ISC), plus a resilience indicator made from the production-biomass ratio ((P / B) B). The Ecological Fragility Index was calculated from bibliographic information by four ecosystems around the world (Northern Gulf of California, North Pacific Region of Baja California, Great Barrier Reef Australian, and Irish Sea). The results are consistent with previous researches because the index reflects greater sensitivity to gravel areas and coral reefs, while sandy areas subject to trawling had the lowest fragility.

Keywords: ecological fragility, bottom trawling, benthic ecosystem

Introducción

Durante las últimas tres décadas se han realizado un importante número de investigaciones dirigidas a determinar el tipo y magnitud de los impactos que genera la pesca de arrastre de fondo en el ecosistema marino (ver revisiones en Jennings & Kaiser, 1998; Lindeboom & de Groot, 1998; Hall, 1999; Kaiser *et al.*, 2002; Løkkeborg, 2005). La mayoría de estos estudios se han realizado en el Mar del Norte y el Mar de Irlanda, Australia, y el Este de los Estados Unidos, existen pocos estudios en el Pacífico Norte y aún menos en los litorales centro y sudamericanos, donde la pesca de arrastre de camarón es una fuente importante de ingreso (*p. ej.* México, Honduras y Colombia).

Sin embargo, los resultados alrededor del mundo muestran impactos similares causados por las redes de arrastre en el fondo marino como son la mortalidad de organismos bentónicos, el aplanamiento del lecho marino y la reducción de la complejidad del hábitat y más aún, en años recientes se han logrado establecer algunos patrones generales y bases para la modelación de las perturbaciones (*p. ej.* Collie *et al.*, 2000; Duplisea *et al.*, 2002; Hiddink *et al.*, 2006; Kaiser *et al.*, 2006). Es también en los últimos años que el debate sobre los impactos de la pesca de arrastre ha cambiado de conocer, si los arrastres reducen la diversidad y complejidad del hábitat, a enfocarse en la determinación de los sitios y el grado de pesca apropiado para asegurar la sustentabilidad (Enticknap, 2002).

A pesar de la falta de información específica para ciertos hábitats, tipos de redes y regiones geográficas, el conocimiento actual sobre el tema puede y debe ser empleado para el manejo más efectivo de los efectos de la pesca en los ecosistemas, como lo menciona el National Research Council (2002). Una de las formas de hacer útil esta información en la toma de decisiones podría ser la clasificación de zonas de acuerdo a su vulnerabilidad ecológica ante los arrastres. Esta vulnerabilidad es una función de factores externos (nivel del impacto) e internos (fragilidad) del sistema amenazado, para nuestro caso se consideran como factores externos la agresividad del arte de pesca y la frecuencia e intensidad de la actividad, definidos por las prácticas de pesca de cada flota en particular, como factores internos aquellos asociados a la fragilidad del ecosistema, que determinan su sensibilidad

(capacidad de resistir) y resiliencia (capacidad de recuperarse) ante los impactos causados por el arrastre y que dependen de las características estructurales y funcionales del mismo. El presente estudio se enfocó en la identificación y cuantificación de estos factores internos, seleccionando e integrando información existente en un índice que permite expresar la fragilidad de un área determinada ante el impacto de las redes de arrastre, particularmente en situaciones en las que existe poca información local disponible.

Material y métodos

Se realizó una extensa revisión bibliográfica donde se incluyeron 46 trabajos experimentales y ocho artículos de revisión, en los cuales se identificaron los impactos más significativos de la pesca de arrastre en los hábitats bentónicos y las variables respuesta con las cuales han sido cuantificados o asociados. Los impactos se clasificaron y agruparon en directos, aquellos que produce el arte de pesca al ser arrastrado (*p. ej.* resuspensión de sedimentos, mortalidad de organismos), e indirectos, que se derivan de los impactos directos y sus efectos son detectados a mediano o largo plazo (aplanamiento del lecho marino, alteración de las comunidades bentónicas).

En mesas de discusión se seleccionaron aquellos factores que fueran capaces de expresar uno o más de los impactos identificados y que además cumplieran con las características siguientes: fáciles de medir, ya sea *in situ* o mediante muestreos sistemáticos; aplicables a cualquier ecosistema bentónico; que conjuntaran una importante cantidad de información; que se conocieran generalidades o tendencias de la respuesta de las comunidades ante un impacto en particular. Se omitieron aquellos impactos para los cuales la respuesta del ecosistema es pobremente conocida y no es posible determinar criterios para expresarlos en términos de sensibilidad o resiliencia, como fueron: resuspensión de sedimentos, pesca incidental, alteración del flujo de nutrientes y cambios en la estructura trófica.

Posteriormente, se obtuvieron dos indicadores de sensibilidad denominados tipo de fondo e índice de sensibilidad comunitario (ISC) (escala de valores en Tablas 1 y 2), así como un indicador de resiliencia basado en la razón productividad biomasa. Cada uno de estos impactos fue estandarizado dentro de una escala arbitraria de fragilidad entre 0 y 1. Para los indicadores de sensibilidad se tomó el 0 como el menor valor de fragilidad que alcanza cada indicador y 1 como el máximo valor posible. En los indicadores de resiliencia, la fragilidad 0 corresponde al máximo valor posible de resiliencia y 1 al menor, lo anterior se debe a que un ecosistema más resiliente se considera como menos frágil y viceversa. Finalmente, se definió la fragilidad ecológica como una función de la sensibilidad y la resiliencia de un ecosistema bentónico, para lo cual se empleó la siguiente fórmula:

$$F = \hat{S} + (1 - R) / 2 \text{ Ecuación 1}$$

donde F = fragilidad; \hat{S} = valor promedio de los indicadores de sensibilidad en una escala de 0 a 1; R = valor promedio de los indicadores de resiliencia en escala de 0 a 1.

Tabla 1. Escala de sensibilidad según el tipo de sustrato. Cada categoría es una descripción general de un rango de hábitats.

Sensibilidad	Tipo de sustrato	Descripción	
0.2	Arenosos	Tamaño de grano 0.125 mm - 0.250 mm	
0.4	Lodoso	0.005 mm - 0.02 mm	
-	0.6	Lodoso arenoso	0.05 mm - 0.1 mm
+	0.8	Gravoso	Grava como mayor componente
1	Biogénico	Praderas de pastos marinos, organismos que forman arrecifes (bancos de bivalvos, esponjas o arrecifes de coral)	

Tabla 2. Valores de respuesta y porcentaje de cambio por grupo taxonómico tomados de Collie *et al.* (2000) y valores en porcentaje de respuesta y resistencia calculados ($r = 100 - \% \text{ cambio}$).

Grupo	Respuesta	% cambio	r =100-% cambio
Anthozoa	-1.4	0.76	0.24
Malacostraca	-1.4	0.76	0.24
Ophiuroidea	-0.9	0.62	0.38
Holothuroidea	-0.85	0.58	0.42
Maxillopoda	-0.8	0.56	0.44
Polychaeta	-0.8	0.56	0.44
Gastropoda	-0.75	0.58	0.42
Echinoidea	-0.7	0.51	0.49
Bivalvia	-0.5	0.40	0.60
Desmospongia	-0.5	0.40	0.60
Asteroidea	-0.3	0.26	0.74
Oligochaeta	-0.25	0.22	0.78

Para la aplicación del índice se obtuvieron los datos necesarios a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica, buscando incluir diversos ecosistemas bentónicos contrastantes en cuanto a hábitat, comunidades presentes y nivel de pesca al que se encuentran sometidos, los sitios elegidos fueron: La Gran Barrera de Arrecife Australiano, que es una zona de alta diversidad de ambientes y comunidades, presenta alta productividad y en ella convergen distintos tipos de pesquerías, entre las cuales se encuentra la pesca de arrastre camarero principalmente enfocadas al langostino banana, al camarón tigre y al camarón rey. El Mar de Irlanda, donde se presentan ambientes bentónicos desde lodoso hasta rocoso, es considerado históricamente una importante región pesquera donde se practica la pesca de arrastre con puertas, la de vara y las dragas entre otras (Lees & Mackinson, 2007).

El norte del Golfo de California, donde las comunidades bentónicas experimentan condiciones templadas durante el invierno y tropicales durante el verano, la costa oeste del Golfo es rocosa con playas arenosas dispersas y una plataforma

continental angosta, en contraste la costa este presenta planicies aluviales, la pesca es la principal actividad humana en el golfo y la de mayor importancia es la pesca de arrastre de camarón, realizada sobre los fondo arenosos y lodosos (Lluch-Cota *et al.*, 2007). Finalmente, la Región Pacífico Norte de la Península de Baja California, considerada una zona con alta productividad estacional debido a las surgencias, con fondos principalmente rocosos o gravosos y la presencia de comunidades de macroalgas y pastos marinos, no existe pesca de arrastre, sin embargo la pesca es la actividad productiva más importante y se realiza por cooperativas bien organizadas que se enfocan principalmente en especies de alto valor comercial como los abulones azul y amarillo (*Haliotis fulgens* y *H. corrugata*, respectivamente) y la langosta espinosa (*Panulirus interruptus*).

Resultados y discusión

Tipo de fondo

El primer indicador seleccionado fue el tipo de fondo, se eligió como indicador de sensibilidad debido a que la composición promedio del sedimento es en gran parte controlada por las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre el sustrato. Así, los fondos arenosos y limpios predominan en ambientes de alta energía, mientras que sedimentos limosos y lodosos se desarrollan en ambientes de muy baja energía. Presumiblemente, las comunidades que habitan cada tipo de sedimento se han adaptado a muy diferentes regímenes de disturbio ambiental por lo que su tasa de recuperación se relaciona a este régimen y a la estabilidad del hábitat. Se asume de manera general que las comunidades encontradas en hábitats dinámicos arenosos se recuperan más rápidamente después de un disturbio físico que aquellas encontradas en ambientes lodosos menos dinámicos. De manera similar la presencia de estructuras biogénicas reflejan la frecuencia de disturbios ambientales naturales lo cual tiene implicaciones en los tiempos de recuperación del hábitat, ya que estas estructuras generalmente presentan tiempos de crecimiento muy lentos.

Una de las ventajas de este indicador es que su medición es muy fácil de obtener, ya que se trata de una característica evidente de cualquier ecosistema bentónico

y por ello fue posible la obtención de información más específica para cada uno de los sitios donde se aplicó el índice. A pesar de que cada categoría de nuestra clasificación por tipo de sustrato es una descripción general de un amplio rango de hábitats, ésta separación parece ser suficiente para generar una clasificación en términos de fragilidad, ya que el patrón donde las comunidades que habitan en sustratos más duros y consolidados presentan una mayor fragilidad que aquellas asentadas en ambientes menos consolidados. Lo anterior ha sido consistente en diversos estudios enfocados a la relación entre el grado de impacto de las redes de arrastre y el tipo de sustrato (*p. ej.* Bergman *et al.*, 1998). Existen otras clasificaciones del tipo de fondo donde se toma en cuenta parte de la composición química (Riemann & Hoffmann, 1991) o el porcentaje de arcilla en el sustrato (Van Dolah *et al.*, 1991; Dernie *et al.*, 2003) y en general no se ha encontrado una relación clara entre el nivel de arrastre y esas variables.

Índice de Sensibilidad Comunitario (ISC)

El ISC está basado en los resultados de un meta-análisis realizado por Collie *et al.* (2000), donde se incluyen 39 estudios que abarcan diversos hábitats, tipos de arrastre y formas de cuantificar los impactos. Dentro de estos resultados se obtienen niveles de respuesta a corto plazo de grandes grupos taxonómicos ante el impacto de pesca de arrastre (Tabla 2). Estos resultados se presentan en porcentajes de cambio a partir de una condición previa al arrastre. Para utilizarlos como indicadores de sensibilidad se utilizó el complemento (1 - % de cambio) el cual se denominó porcentaje de resistencia al cambio. La escala de sensibilidad propuesta, combina los valores de respuesta mencionados con datos de abundancia relativa mediante la fórmula:

$$ISC = \sum_{i=1}^n a_i / r_i \quad \text{Ecuación 2}$$

donde a_i = abundancia relativa de la especie i ; r_i = porcentaje de resistencia al cambio de la especie i ; n = número total de especies.

Para el caso de los grupos que no se encuentran incluidos en la Tabla 2, como las macroalgas, se decidió asignarles un valor de 0.5 de resistencia a falta de información que nos permita asignarle un valor más verosímil de sensibilidad. En el estudio de Collie *et al.* (2000) se incluyen diferentes tipos de redes, tipos de fondo, profundidades, intensidades de pesca y formas de medición de impacto.

Es importante mencionar dos consideraciones: primero, que el tipo de arte de pesca más frecuente fue la red de arrastre con puertas; y segundo, los estudios fueron hechos principalmente en el Norte de Europa y el Este de Norte América. A pesar de estos sesgos, el ISC presentó resultados coherentes a lo esperado, como se muestra más adelante.

Razón (P/B) B promedio

El cociente de la producción neta sobre la biomasa promedio de una comunidad (razón P/B), nos aporta una medida de la velocidad de crecimiento y/o reproducción de los individuos que la conforman y por ende de su velocidad de recuperación ante un disturbio, al menos en términos de biomasa. Una razón P/B alta indica la presencia de especies con adultos de tamaño pequeño, tasas de crecimiento altas, así como una alta mortalidad natural. Se asume que una comunidad de este tipo tiene una baja fragilidad ya que de manera natural se encuentra adaptada a los disturbios ambientales y es capaz de soportar las alteraciones debidas a la pesca, siempre y cuando éstas no superen la frecuencia natural de los disturbios (Kaiser, 1998; Thrush & Dayton, 2002; Gray *et al.*, 2006).

Caso contrario ocurre con comunidades cuya razón P/B es baja; esto indica la presencia de poblaciones con adultos de tamaño grande, lento crecimiento y una baja mortalidad natural, estos ecosistemas presentan por ende una alta fragilidad ante el impacto del arrastre. Además de la razón P/B se incluye a la biomasa B para ponderar cada grupo o especie de acuerdo a su abundancia dentro de la comunidad. Una de las desventajas de este indicador es la dificultad de medición de P/B para cada una de las especies de una comunidad, por ello se empleó el método basado en categorías de tamaño (Brey, 1999; Jennings *et al.*, 2001) descrito en <http://www.thomas-brey.de/science/virtualhandbook/navlog/index.html>, el cual tiene la ventaja de poder calcular la tasa de crecimiento instantánea a partir de muestras de campo.

Aplicación del índice de fragilidad

Los resultados de cada uno de los indicadores calculados para cada uno de los sitios de estudio se presentan en la Tabla 3. Al comparar los valores del índice (Figura 1) dentro de las mismas zonas parece evidente que el tipo de fondo podría

ser por sí mismo un indicador capaz de expresar el nivel de fragilidad de un sitio, ya que las zonas de grava y/o con un fuerte componente biogénico son las que presentan las mayores fragilidades y las zonas arenosas y lodosas son las de menor valor. No obstante, esto es sólo resultado de que los sitios fueron separados de acuerdo a este indicador, ya que para el resto no se encontró información disponible para el cálculo particular de cada ambiente identificado. Sin embargo, en el caso del Mar de Irlanda se observa que a pesar de existir un sustrato de tipo biogénico formado por las macroalgas, la alta resiliencia de estos organismos y el bajo ISC de las especies presentes resultan en una baja fragilidad por lo que puede observarse de manera clara como se desempeñan el resto de indicadores para conformar el índice (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de sensibilidad y resiliencia calculados para cada una de los sitios elegidos.

Lugar	Hábitat	Fuentes	Tipo de fondo	ISC	(P/B)B
Gran Barrera de Arrecife Australiano	Zona lagunar	Watson <i>et al.</i> (1990) Gribble (2005)	0.2	0.919	0.379
	Zona arrecifal		1		
Mar de Irlanda	Zonas con macroalgas	Lees & Mackinson, 2007	1	0.290	1
	Fondos arenosos		0.2	0.411	0.000
	Fondos lodosos		0.4		
	Fondos de grava		0.8		
Norte del Golfo de California	Fondo arenoso	De La Cruz & García, 2008 Morales-Zárate <i>et al.</i> , 2004	0.2	0.539	0.380
	Fondos lodosos		0.4	0.460	
	Fondos arenoso lodosos		0.6	0.548	
Región Pacífico Norte	Fondos arenosos	Morales-Zárate <i>et al.</i> , 2004	0.2	0.394	0.026
	Fondos gravoso		0.8		

Al comparar los valores del índice entre las diferentes zonas se observa que la Gran Barrera de Arrecife Australiano se encuentra dentro de los sitios con alta fragilidad, lo cual corresponde con lo esperado (Figura 1). Al respecto Hall (1999) y Hiddink *et al.* (2006) mencionan que no se necesitan estudios complejos para determinar que los arrecifes son zonas vulnerables a la pesca de arrastre. Los fondos gravosos de la Región Pacífico Norte de Baja California y del Mar de Irlanda también presentan alta fragilidad. El primero de estos sitios no se encuentra sometido a la pesca de arrastre pero soporta pesquerías de organismos de alto valor comercial y con un lento crecimiento relativo, como es el caso del abulón y la langosta espinosa, que probablemente contribuyen a esta elevada fragilidad. Mientras que, para el Mar de Irlanda Kaiser *et al.* (1996) mencionan la existencia de zonas con comunidades poco conocidas y/o con organismos de vida larga donde se realizan actividades de dragado y arrastre.

En el otro extremo, los valores más bajos de fragilidad corresponden a las zonas con macroalgas del mar de Irlanda y los fondos arenosos y lodosos del Golfo de California, esto podría deberse a que ambas zonas soportan importantes pesquerías de arrastre desde hace varios años (Lindeboom & de Groot, 1998; Lluch-Cota *et al.*, 2007). Además, para el caso del Golfo de California, Sánchez-González & Aguiñiga (2008) y De La Cruz & García (2008) no encuentran una relación clara entre zonas sometidas a arrastre camaronero y zonas control en las que presumiblemente no se realizan arrastres. Sugieren que esto es resultado de la alta dinámica del ecosistema, lo que puede coincidir con la fragilidad encontrada.

Los ejemplos antes mencionados representan los valores extremos para los que probablemente no es necesaria la elaboración de un índice si se pretende comparar sus niveles de fragilidad, sin embargo nos permitieron evaluar el comportamiento y coherencia de nuestros indicadores e índice, el cual se espera cobre sentido en los valores intermedios donde se pretenda comparar zonas aledañas o similares y permita obtener una clasificación.

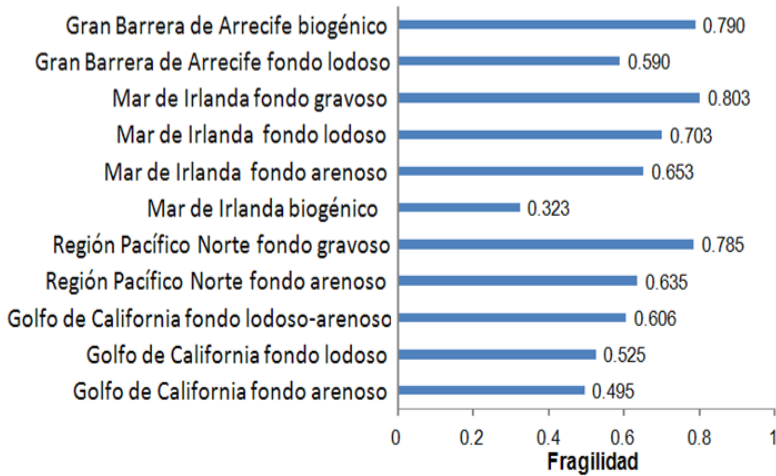


Figura 1. Fragilidad ecológica de diferentes ecosistemas bentónicos.

Es importante señalar que este índice es una medida de la fragilidad de las comunidades bentónicas ante un evento de cualquier tipo de arrastre. Sin embargo, no se cuenta con indicadores de intensidad que describan la forma en la que varía esta fragilidad en función de la densidad de arrastres en una zona o que puedan diferenciar el grado de impacto de los diferentes tipos de artes de pesca. Mediante un modelo teórico, Kaiser *et al.* (2002) predicen que la fragilidad incrementa de acuerdo al nivel de intensidad del arrastre, pero llega un punto donde a un nivel muy elevado de intensidad, los valores de fragilidad son iguales para cualquier ecosistema. Debido a lo anterior es importante señalar que el índice propuesto sólo evalúa el aspecto de fragilidad de la comunidad bentónica y si se pretende utilizar como herramienta de decisión sobre las zonas donde el impacto ecológico de la pesca de arrastre sea menor, debe ser complementado con otros indicadores que incluyan más elementos del ecosistema, así como otros impactos que esta actividad genera.

Referencias

- Bergman, M.J.N., J.W. Van Santbrink, J. Buijs, J.A. Craeymeersch, G.J. Piet, A.D. Rijnsdorp, C. Laban & W. Zevenboom. 1998. *The distribution of benthic macrofauna in the Dutch sector of the North Sea in relation to the micro distribution of beam trawling*. BEON Rapport 98-2, La Haya, 93 p.
- Brey, T. 1999. Growth performance and mortality in aquatic macrobenthic invertebrates. *Adv. Mar. Biol.*, 35: 153–223.
- Collie, J.S., S.J. Hall, M.J. Kaiser & I.R. Poiner. 2000. A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos. *J. Anim. Ecol.*, 69: 785–799.
- De La Cruz, A.G. & D.F. García. 2008. Efecto de la pesquería de arrastre de camarón en las comunidades asociadas al sedimento marino en centro y norte del Golfo de California, 20–47. En: Lluch-Belda, D. (Ed.) *Reporte técnico final del proyecto “Efecto de la pesquería de arrastre de camarón en las comunidades asociadas al sedimento marino en Centro y Norte del Golfo de California”*. IPN-CICIMAR, La Paz BCS, 59 p.
- Dernie, K.M., M.J. Kaiser & R.M. Warwick. 2003. Recovery rates of benthic communities following physical disturbance. *J. Anim. Ecol.*, 72: 1043–1056.
- Duplisea, D.E., S. Jennings, K.J. Warr & T.A. Dinmore. 2002. A size based model of the impacts of bottom trawling on benthic community structure. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 59: 1785–1795.
- Enticknap, B. 2002. *Trawling the North Pacific. Understanding the Effects of Bottom Trawl Fisheries on Alaska’s Living Seafloor*. Alaska Marine Conservation Council, Anchorage, 22 p.
- Gray, J.S., P. Dayton, S. Thrush & M.J. Kaiser. 2006. On effects of trawling, benthos and sampling design. *Mar. Pol. Bull.*, 52: 840–843.
- Gribble, N.A. 2005. CD Ecosystem modeling of the Great Barrier Reef: A balanced trophic biomass approach, 170–176. En: Zenger, A. & R.M. Argent (Eds.) *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation*. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005. http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/ascough_1.pdf
- Hall, S.J. 1999. *The Effects of Fishing on Marine Ecosystem and Communities*. Blackwell Science, Oxford, 296 p.

- Hiddink, J.G., S. Jennings & M.J. Kaiser. 2006. Indicators of the ecological impact of bottom-trawl disturbance on seabed communities. *Ecosystems*, 9: 1190–1199.
- Jennings, S. & M.J. Kaiser. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems. *Adv. Mar. Biol.*, 34: 201–352.
- Jennings, S., T.A. Dinmore, D.E. Duplisea, K.J. Warr & J.E. Lancaster. 2001. Trawling disturbance can modify benthic production processes. *J. Anim. Ecol.*, 70: 459–475.
- Kaiser, M.J. 1998. Significance of bottom-fishing disturbance. *Conserv. Biol.*, 12(6): 1230–1235.
- Kaiser, M.J., A.S. Hill, K. Ramsay, B.E. Spencer, A.R. Brand, L.O. Veale, K. Prudden, E.I.S. Rees, B.W. Munday, B. Ball & S.J. Hawkins. 1996. Benthic disturbance by fishing gear in the Irish Sea: a comparison of beam trawling and scallop dredging. *Aquatic Conserv.*, 6: 269–285.
- Kaiser, M.J., J.S. Collie, S.J. Hall, S. Jennings & I.R. Poiner. 2002. Modification of marine habitats by trawling activities: prognosis and solutions. *Fish and Fisheries*, 3: 114–136.
- Kaiser, M.J., K.R. Clarke, H. Hinz, M.C.V. Austen, P.J. Somerfield & I. Karakassis. 2006. Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 311: 1–14.
- Lees, K. & S. Mackinson. 2007. An Ecopath model of the Irish Sea: ecosystems properties and sensitivity analysis. *Sci. Ser. Tech. Rep. Cefas Lowestoft*, 138: 49.
- Lindeboom, H.J. & S.J. de Groot. 1998. *The effects of different types of fisheries on the North Sea and Irish Sea benthic ecosystems*. NIOZ- Report 1998-1/RIVO-DLO Report C003/98. Netherlands Institute of Sea Research, Texel, 404 p.
- Lluch-Cota, S.E., E.A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J. Bautista-Romero, R.C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. del Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M.E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavin, D. Lluch-Belda, D. 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. Ramírez-Rodríguez, C.A. Salinas-Zavala, R.A. Schwartzlose & A.P. Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Prog. Oceanogr.*, 73: 1–26.

- Løkkeborg, S. 2005. *Impacts of Trawling and Scallop Dredging on Benthic Communities*. Fisheries Technical Paper No. 472. FAO, Roma, 58 p.
- Morales-Zárate, M.V., F. Arreguín-Sánchez, J. López-Martínez & S.E. Lluch-Cota. 2004. Ecosystem trophic structure and energy flux in the Northern Gulf of California, Mexico. *Ecol. Model.*, 174: 331–345.
- National Research Council. 2002. *Effects of Trawling and Dredging on Seafloor Habitat*. National Academy Press, Washington, 126 p.
- Riemann, B. & E. Hoffmann. 1991. Ecological consequences of dredging and bottom trawling in the Limfjord, Denmark. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 69: 171–178.
- Sánchez-González, A. & G.S. Aguñiga. 2008. Evaluación geoquímica y sedimentológica en áreas de pesca de arrastre de camarón en el Golfo de California: contraste entre áreas arrastradas y no arrastradas, 12–19. En: Lluch-Belda, D. (Ed.) *Reporte técnico final del proyecto “Efecto de la pesquería de arrastre de camarón en las comunidades asociadas al sedimento marino en Centro y Norte del Golfo de California”*. IPN-CICIMAR, La Paz BCS, 59 p.
- Thrush, S.F. & P.K. Dayton. 2002. Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: Implications for marine biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 33: 449–473.
- Van Dolah, R.F., P.H. Wendt & M.V. Levisen. 1991. A study of the effects of shrimp trawling on benthic communities in two South Carolina sounds. *Fish. Res.*, 12: 139–156.
- Watson, R.A., M.L.C. Dredge & D.G. Mayer. 1990. Spatial and seasonal variation in demersal trawl fauna associated with a prawn fishery on the Central Great Barrier reef, Australia. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 41: 65-77.