

El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible

The Mesoamerican Barrier Reef System-Mexico: considerations for its designation as a Particularly Sensitive Sea Area

Pedro-Luis Ardisson,¹ Marco Antonio May-Kú,¹ María Teresa Herrera-Dorantes¹ y Alfredo Arellano-Guillermo²

¹Departamento de Recursos del Mar, Cinvestav. Carretera antigua a Progreso, km 6. Apdo. Postal 73-Cordemex. Mérida, Yucatán, 97310. México

²Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Región Península de Yucatán y Caribe Mexicano, Calle Venado No. 71 y 73, SM. 20, M. 18, Lote 2 y 4, Cancún, Benito Juárez, Quintana Roo, 77500. México
e-mail: ardisson@mda.cinvestav.mx

Ardisson P.-L., M. A. May-Kú, M. T. Herrera-Dorantes y A. Arellano-Guillermo. 2011. El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiológica* 21(3): 261-280.

RESUMEN

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es un área natural que se extiende aproximadamente 1,000 km a través de las costas caribeñas de México, Belice, Guatemala y Honduras. A partir de 1997, los gobiernos de estos cuatro países han considerado una iniciativa para que la Organización Marítima Internacional (OMI) designe al SAM como Zona Marítima Especialmente Sensible (ZMES). La justificación para tal designación sería la protección del SAM contra los efectos negativos del tráfico marítimo internacional. Tal designación constituiría también un mecanismo para conservar su biodiversidad y aprovechar sosteniblemente sus recursos. El presente documento proporciona una síntesis del estado actual de la información sobre las características ecológicas, socioeconómicas y de actividades marítimas sobre la porción mexicana del SAM (Quintana Roo), como una contribución al esfuerzo de protección al identificar fortalezas y debilidades en el cumplimiento de las directrices establecidas por la OMI para la designación del área como ZMES.

Palabras clave: Arrecifes de Coral, Caribe, OMI, SAM, ZMES.

ABSTRACT

The Mesoamerican Barrier Reef System (MBRS) extends over 1,000 km along the Caribbean Sea of Mexico, Belize, Guatemala, and Honduras. From 1997 onwards these four countries have considered an initiative to designate the MBRS as a Particularly Sensitive Sea Area (PSSA) by the International Maritime Organization (IMO). The purpose of the initiative is to protect the MBRS against the negative effects of international shipping activities. Such designation would also constitute a mechanism to facilitate conservation and sustainable use of the region's resources. This paper provides a summary of the available information about ecological, socio-economic and shipping activities in the Mexican portion of the MBRS (State of Quintana Roo) that might contribute to the joint countries effort by identifying strengths and weaknesses in complying with the guidelines established by IMO to designate the area as a PSSA.

Key words: Caribbean, Coral Reefs, IMO, MBRS, PSSA.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es un ecosistema de aproximadamente 1000 km de longitud localizado en el mar Caribe. Inicia en Cabo Catoche, al norte de Quintana Roo, México, bordea las costas de Belice y Guatemala y finaliza en el complejo Islas de la Bahía/Cayos Cochinos en la costa norte de Honduras. Comprende 60 áreas naturales protegidas (ANP) que proveen hábitats críticos para la alimentación, anidación y crianza de un elevado número de especies de flora y fauna de importancia comercial, amenazadas o en peligro de extinción (Kramer & Kramer, 2002; SAM, 2004). En la Declaratoria de Tulum de 1997, los jefes de estado de México, Belice, Guatemala y Honduras se comprometieron a desarrollar un plan de acción para la conservación y uso sostenible del SAM. Nueve años más tarde, en el "Acuerdo de renovación de los compromisos en torno al Sistema Arrecifal Mesoamericano en el Marco de la Declaración de Tulum", firmado en Panamá el 11 de julio de 2006, se estableció en el numeral 7, "solicitar de manera conjunta a la Organización Marítima Internacional (OMI) declarar el área del SAM como Zona Marítima Especialmente Sensible (ZMES)" para protegerla del incremento del tráfico marítimo (disponible en línea en: <http://www.sica.int/>; consultado el 10 de octubre de 2011).

La OMI es la agencia especializada de las Naciones Unidas para asuntos marítimos. Promueve, a través de convenios, la cooperación entre Estados y la industria del transporte para mejorar la seguridad marítima y prevenir la contaminación marina. Las disposiciones de los convenios son de cumplimiento obligatorio por parte de los 169 estados miembros y tres miembros asociados que la conforman (México es miembro desde 1954). El Comité de Protección del Medio Marino comenzó a estudiar la cuestión de las ZMES en respuesta a una resolución de la conferencia internacional de 1978 sobre seguridad de los buques tanque y prevención de la contaminación. Los debates que tuvieron lugar sobre este tema entre 1986 y 1991 culminaron con la adopción de las directrices para la designación de zonas especiales y la determinación de ZMES mediante la resolución A.720(17), la cual en los años siguientes tuvo dos revisiones para aclarar y/o adoptar nuevas directrices (Enríquez, 2005). En 2005 la OMI adoptó la resolución A.982(24), instrumento vigente al cual deben sujetarse los estados miembros para someter una propuesta de ZMES (OMI, 2005).

En dicha resolución se establece que para ser designada como ZMES, la zona de que se trate deberá satisfacer al menos uno de tres criterios: (i) ecológico, (ii) socioeconómico y cultural, y (iii) científico y pedagógico. Dicho criterio debe ser vulnerable a las actividades marítimas internacionales. De todo lo anterior se deberá facilitar información y documentación de apoyo. Al respecto, los cuatro países que comprenden el SAM presentan entre sí elementos tanto comunes como específicos. Por lo tanto, ante una eventual propuesta conjunta, cada país debe primero

generar, reunir e integrar la información propia. En este sentido, el objetivo de este artículo de revisión es sintetizar y analizar la información sobre las características ecológicas, socioeconómicas, y de actividad marítima en el Sistema Arrecifal Mesoamericano-México (SAM-M) con base en las directrices establecidas en la resolución A.982(24) de la OMI (2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La información analizada corresponde a 25 directrices (o temas) establecidas por la OMI en la resolución A.982(24) para la designación de ZMES (OMI, 2005). Estos temas incluyen aspectos ecológicos, socioeconómicos y de actividades marítimas, entre otros, en los arrecifes de Quintana Roo (SAM-M). La información se obtuvo a través de motores de búsqueda (e.g., ISI Web of Knowledge, Google Académico), de bases de datos de agencias nacionales (e.g., el Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes); e intercambio de información con especialistas que trabajan en el tema (e.g., Lindy S. Johnson de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos: Johnson, 2004).

Área de estudio. Los 865 km de litoral del estado de Quintana Roo presentan una plataforma continental angosta (<5 km), caracterizada por bahías, playas, caletas, cayos, islas (sobresaliendo tres: Contoy, Isla Mujeres y Cozumel, localizadas a menos de 20 km del continente), lagunas costeras y lagunas arrecifales. Los arrecifes de la región corresponden a la porción norte del SAM y se caracterizan por ser principalmente de tipo marginal con una longitud aproximada de 300 km. Los arrecifes están constituidos por más de 90 especies de corales escleractinios y gorgonáceos (Beltrán-Torres & Carricart-Ganivet, 1999; Fenner, 1999; Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003), los cuales en su mayor parte se localizan en ocho ANP's agrupadas en dos categorías de protección: reserva de la biosfera y parque nacional (Tabla 1). Las formaciones coralinas que marcan el inicio del SAM-M en Cabo Catoche están constituidas por macroalgas (56.9%), gorgonáceos (36.7%), corales escleractinios (0.6%), restos de coral y arena (Oceanus, 2007). A partir de Isla Contoy hasta Belice, los arrecifes siguen una dirección norte-sur. De Punta Nizuc a Puerto Morelos, la barrera arrecifal alcanza la superficie y es claramente visible a no más de un kilómetro de la costa. En Puerto Morelos se interrumpe por 18 km hasta Punta Maroma. Ahí reaparece para desaparecer de la superficie nuevamente en Playa del Carmen por un trecho aproximado de 35 km, aunque por tramos hay numerosos cabezos aislados así como arrecifes que se extienden desde la orilla y, sobre todo, arrecifes bien desarrollados entre 15 y 45 m de profundidad. A partir de Tulum, la barrera arrecifal se localiza entre 1.5 - 2.5 km de la costa, es casi ininterrumpida, más ancha y desarrollada, correspondiendo 110 km a la reserva de la biosfera de Sian Ka'an y se extiende hasta el parque nacional Arrecifes de Xcalak, para continuar con características similares

Tabla 1. Áreas naturales protegidas de administración federal en y frente a las costas de Quintana Roo, indicando los tipos de humedales marinos y costeros comprendidos dentro de sus límites de acuerdo con el sistema de clasificación de tipos de humedales de la Convención de Ramsar (Frazier, 1999).

Área natural protegida	Decreto de creación	Sitio Ramsar	Área total (ha)	Hábitat marino/costero	Longitud aproximada de arrecifes (km)
Reserva de la biosfera					
Banco Chinchorro	19 Jul. 1996	1353	144360	1*, 2*, 3*, 6, 7, 10	46
Sian Ka'an	20 Enero 1986	1329	528147	1*, 2*, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	120
Arrecifes de Sian Ka'an	2 Feb. 1998	1329	34927	2*, 4*, 6, 7, 8, 11	120
Tiburón ballena	5 Jun. 2009	No	145988	1*, 2, 6*, 7, 9*, 10	ind
Parque nacional					
Arrecifes de Cozumel	19 Jul. 1996	1449	11988	1, 2*, 10, 11	32
Arrecifes de Puerto Morelos	2 Feb. 1998	1343	9067	1*, 2*, 7, 9, 10*, 11	20
Arrecifes de Xcalak	27 Nov. 2000	1320	17949	1, 2*, 6*, 7*, 9, 10,	25
Costa occidental de Isla Mujeres					
Punta Cancún y Punta Nizuc	19 Jul. 1996	No	8673	1, 2*, 3, 10	20
Isla Contoy	2 Feb. 1998	1323	5126	1*, 2, 3, 6, 7*, 9, 10*	<5
Tulum	23 Abril 1981	No	664	7*, 9	ind
Área de protección de flora y fauna					
Yum Balam	6 Jun. 1994	1360	154052	1*, 6*, 7*, 9*, 10*, 11	ind
Uaymil	17 Nov. 1994	No	89118	7*	ind
Manglares de Nichupté	26 Feb. 2008	1777	4257	6, 7*, 10	ind
Santuario					
Playa de la Isla Contoy	29 Oct. 1986	No		9*, 10	ind

1: Aguas marinas someras permanentes; 2: Arrecifes de coral; 3: Costas marinas rocosas; 4: Estuarios; 5: Lagunas costeras de agua dulce i.e., humedales de agua dulce; 6: Lagunas costeras salobres/saladas conectadas al mar; 7: Manglares; 8: Pantanos y esteros intermareales; 9: Playas arenosas; 10: Praderas de pastos marinos; 11: Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros; *: hábitat dominante. ind: información no disponible.

frente a la Bahía de Chetumal, donde continúan como los arrecifes de Belice. Los arrecifes profundos de Cozumel, conforman un importante parapeto a lo largo del borde de la plataforma de la isla, presentando un alto grado de desarrollo entre 10 y 60 m de profundidad. Como parte de estos arrecifes destaca la presencia de coral negro (Juárez-de la Rosa *et al.*, 2007). Además, la reserva de la biosfera Banco Chinchorro, a diferencia de los demás arrecifes de la región, es un extenso arrecife de plataforma de forma circular ubicado a 30 km de la costa sur del estado de Quintana Roo; es considerado el arrecife más grande de México (~600 km²), en el que se presentan formaciones coralinas múltiples altamente desarrolladas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Singularidad del ecosistema. La compleja interacción entre el sistema arrecifal y una gran variedad de ecosistemas marinos ecológicamente interdependientes (e.g., praderas de pastos marinos, lagunas y bosques de manglar; Tabla 1) señala la singularidad

del SAM-M, la cual es vital para la conservación de una alta diversidad de especies de flora y fauna de importancia comercial, amenazadas o en peligro de extinción (Zurita *et al.*, 1993; Morales-Vela *et al.*, 2000; Kramer & Kramer, 2002; Gifford *et al.*, 2007).

Hábitats críticos. Los arrecifes de coral, las praderas de pastos marinos: *Thalassia testudinum* Banks *et Soland.* ex Koenig, *Cymodocea filiformis* (Kuetz.) Correll y *Halodule beaudettei* (den Hartog) den Hartog y las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* Linnaeus son considerados hábitats críticos en todo su rango de distribución (Nagelkerken *et al.*, 2000; Beck *et al.*, 2001). Cabe resaltar la importancia que estos hábitats tienen para especies en peligro o amenazadas. Por ejemplo, la tortuga caguama *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758), la tortuga carey *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766), la tortuga laúd *Dermochelys coriacea* (Vandelli, 1761) y la tortuga verde *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) que habitan y/o se alimentan en los arrecifes de coral y las praderas de pastos marinos, son consideradas en México como especies en

peligro de extinción, mientras que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) considera a *E. imbricata* y a *D. coriacea* como en peligro crítico de extinción y a *C. caretta* y *C. mydas* como en peligro de extinción. Para el manatí *Trichechus manatus* Linnaeus, 1758 los pastos marinos son vitales para su alimentación (Axis-Arroyo et al., 1998; Morales-Vela et al., 2000; Olivera-Gómez & Mellink, 2005). Esta especie (también considerada en peligro de extinción por la IUCN) está protegida en México desde 1921 y en 1996 se declaró a la Bahía de Chetumal, Quintana Roo como zona sujeta a conservación ecológica estatal, santuario del manatí. Además, las dos familias de tortugas marinas y el manatí figuran en el apéndice I del Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies de Flora y Fauna Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés). El tiburón ballena *Rhincodon typus* Smith, 1828 utiliza el área marina ubicada al norte del SAM-M como zona de alimentación (declarada como reserva de la biosfera Tiburón Ballena; Diario Oficial de la Federación. 05-junio-2009), donde se han reportado 1,110 avistamientos durante los meses de mayo a septiembre por lo que se le considera como una de las zonas de mayor concentración de esta especie a nivel mundial. Esta especie es considerada en México como amenazada y vulnerable a la extinción de acuerdo con la IUCN y está contenida en el apéndice II de la CITES (SEMARNAT, 2007). De igual manera, existen sitios específicos en el sur del SAM-M relacionados con el asentamiento de larvas y crecimiento de juveniles del caracol rosado *Strombus gigas* Linnaeus, 1758; uno de ellos corresponde a las praderas de *Thalassia testudinum* y macroalgas localizadas en la laguna arrecifal de Punta Gavilán (de Jesús-Navarrete et al., 2000) y Banco Chinchorro (de Jesús-Navarrete & Valencia-Beltrán, 2003). Mientras que los cayos e islas de la región son críticos en la ruta de aves migratorias (MacKinnon & Acosta-Aburto, 2003).

Dependencia ecológica. Los arrecifes del SAM-M constituyen por sí mismos una comunidad simbiótica formada por millones de corales, algas y bacterias que dependen los unos de los otros para su supervivencia. La salud de los procesos ecológicos que acontecen en ella depende de la compleja transferencia de recursos bióticos y abióticos entre los arrecifes y ecosistemas asociados como los pastos marinos, manglares y humedales costeros (Arias-González, 1998). Se ha observado que la estructura de la comunidad de peces es influenciada significativamente por la cercanía de pastos marinos, manglares y arrecifes; y que la biomasa de especies de importancia comercial se incrementa al doble cuando el hábitat de los especímenes adultos está conectado con el manglar (Mumby, 2006). Esta evidencia indica que los planes de conservación deben estar dirigidos a proteger el conjunto de ecosistemas que conforman estos corredores biológicos con alta interdependencia. México ha inscrito a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) 13 sitios en la Convención de Ramsar que son parte o mantienen influencia directa en la conservación del SAM. Disponible en lí-

nea en: http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios_ramsar_dunas.php (consultado el 10 de octubre de 2011).

Diversidad biológica y de hábitats. Se han reportado 3,331 especies marinas (Tabla 2). Sin embargo, es previsible que investigaciones adicionales incrementen la riqueza biológica. Esta alta biodiversidad está asociada a la gran diversidad de hábitats. De acuerdo con el sistema de clasificación de tipos de humedales de la Convención de Ramsar (Frazier, 1999), en Quintana Roo es posible identificar 11 hábitats de humedales marinos y costeros: (1) aguas marinas someras permanentes, (2) arrecifes de coral, (3) costas marinas rocosas, (4) estuarios, (5) lagunas costeras de agua dulce i.e., humedales de agua dulce, (6) lagunas costeras salobres/saladas conectadas con el mar, (7) humedales intermareales arbolados i.e., manglares, (8) pantanos y esteros intermareales (zonas inundadas), (9) playas de arena y (10) lechos marinos submareales i.e., praderas de pastos marinos, además de un tipo de humedal continental característico de la región clasificado como: (11) sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros (Tabla 1).

Productividad ecológica. Los ecosistemas de arrecifes de coral se caracterizan por altas tasas de producción primaria, sosteniendo una gran diversidad de flora y fauna asociada (Lewis, 1981). Además, presentan una alta tasa de intercambio de nutrientes y organismos con ambientes cercanos lo que incrementa su productividad (Arias-González, 1998; Mumby, 2006). El SAM-M comprende ~300 km de arrecifes de coral, lo que indica la existencia de un ecosistema con alta productividad. Por ejemplo, la biomasa de peces estimada para la porción sur del SAM-M es de 205 t km⁻², mayor a lo registrado en arrecifes de coral de Islas Vírgenes y Cuba, pero similar a lo reportado para la Gran Barrera Arrecifal de Australia (Álvarez-Hernández, 2003).

Zonas de desove o reproducción. En los arrecifes de Mahahual, localizados entre 350 y 500 m de la línea de costa, se han registrado agregaciones reproductivas de hasta 800 individuos del mero *Epinephelus striatus* (Bloch, 1792), especie incluida en la lista roja de especies en peligro de extinción de la IUCN (Aguilar-Perera & Aguilar-Dávila, 1996). Sin embargo, estas agregaciones han estado sujetas a una alta explotación pesquera lo que ha provocado su disminución (Aguilar-Perera, 2006). De las ocho especies de tortugas marinas que existen en el mundo, siete anidan en playas mexicanas y cuatro llegan a anidar a playas localizadas en las lagunas arrecifales de la costa de Quintana Roo (Zurita et al., 1993). Además, diversas especies desovan y se reproducen en la región; por ejemplo, el caracol rosado (Aldana et al., 2003), la langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) (Fonseca-Larios & Briones-Fourzán, 1998; Manzanilla-Domínguez & Gasca, 2004) y diversos peces marinos (Schmitter-Soto et al., 2000).

Carácter natural. En general, los arrecifes del SAM-M se encuentran en buen estado de conservación. Cabe resaltar a: (i) Banco Chinchorro, declarado como reserva de la biosfera en 1996 (Dia-

Tabla 2. Número de especies marinas reportadas en Quintana Roo.

Grupo	No. de especies	Fuente
Anfípodos bentónicos	179	Winfield & Escobar-Briones (2007)
Aves	289	MacKinnon & Acosta-Aburto (2003)
Copépodos	201	Suárez-Morales & Gasca (1998)
Corales escleractinios	63	Beltrán-Torres & Carricart-Ganivet (1999); Fenner (1999)
Crustáceos decápodos	233	Markham <i>et al.</i> (1990)
Elasmobranquios	27	Basurto <i>et al.</i> (1996)
Equinodermos	178	Laguarda-Figueras <i>et al.</i> (2005)
Eponjas	50	Maas-Vargas (2004)
Eufásidos	21	Castellanos & Gasca (2002)
Fanerógamas marinas	4	Short <i>et al.</i> (2007)
Fitoplancton costero	71	Troccoli <i>et al.</i> (2004)
Foraminíferos	269	Escobar-Briones & Machain (2005)
Gorgonáceos	43	Jordán-Dahlgren (2002)
Macroalgas	546	Cetz-Navarro <i>et al.</i> (2008)
Mamíferos	31	Torres <i>et al.</i> (1995); Olivera-Gómez & Mellink (2005)
Mangles	4	Agráz-Hernández <i>et al.</i> (2006)
Medusas	88	Segura-Puertas <i>et al.</i> (2003)
Moluscos gasterópodos	36	Oliva-Rivera & de Jesús-Navarrete (2007)
Nemátodos	98	de Jesús-Navarrete (2003); de Jesús-Navarrete (2007)
Ostrácodos	102	Machain-Castillo & Gio-Argáez (1993)
Peces	~600	Schmitter-Soto <i>et al.</i> (2000); Álvarez-Cadena <i>et al.</i> (2007); García-Hernández <i>et al.</i> (2009)
Poliquetos nereidos	95	Salazar-Vallejo & Jiménez-Cueto (1997)
Poliquetos pelágicos	26	Suárez-Morales <i>et al.</i> (2005)
Quelonios	4	Zurita <i>et al.</i> (1993)
Quetognatos	11	Álvarez-Cadena <i>et al.</i> (2008)
Sifonóforos	42	Gasca (2002)
Tanaidaceos	20	Suárez-Morales <i>et al.</i> (2004)
Total	3331	

rio Oficial de la Federación. 19/Jul./1996) que, dado su relativo aislamiento geográfico, se encuentra entre los ecosistemas más sanos y mejor conservados de la región. Con aproximadamente 600 km² de arrecifes, se le considera como un área clave para la conservación de los corales *Acropora palmata* (Lamarck, 1816) y *Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816), especies sujetas a protección especial por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 y para los corales negros *Antipathes pennacea* Pallas, 1766 y *Antipathes caribbeana* Opresko, 1996 (Padilla & Lara, 2003; Vega-Zepeda *et al.*, 2007); y (ii) Sian Ka'an, declarado como reserva de la biosfera en 1986 y como patrimonio de la humanidad por la UNESCO en 1987, comprende aproximadamente 120,000 ha de ambientes marinos como: bahías, lagunas salobres, marismas,

zonas oceánicas someras, manglares y una barrera arrecifal de 110 km de longitud.

Integridad ecológica. Se han observado diversos procesos ecológicos (Roberts, 1997; Cowen *et al.*, 2006; Arias-González *et al.*, 2008; Rodríguez-Zaragoza & Arias-González, 2008) y oceanográficos (Andréfouët *et al.*, 2002; Ezer *et al.*, 2005; Soto *et al.*, 2009) que sugieren la integración del SAM en un solo ecosistema. Por ejemplo: las poblaciones de *A. palmata* localizadas al este del Mar Caribe (San Vicente y Las Granadinas, Islas Vírgenes de los Estados Unidos, Curazao, Bonaire) han presentado poco o nulo intercambio genético con poblaciones del oeste (Bahamas, Florida, México, Panamá, Isla de Navassa, Isla de la Mona) (Baums

et al., 2005; 2006). Vollmer & Pulumbi (2006) observaron que en el Mar Caribe *A. cervicornis* presenta niveles moderados a altos de diferenciación poblacional entre regiones, y que el flujo genético puede presentarse a escalas espaciales de solo 2 km. Los cambios en la complejidad de la estructura comunitaria de un arrecife por la pérdida de cualquiera de sus componentes puede provocar el deterioro del mismo amenazando su integridad. En este sentido la conectividad entre los arrecifes del SAM-M es alta, inicia en los arrecifes de Xcalak y/o Banco Chinchorro para continuar hacia el norte pasando por los arrecifes de la región central hasta Isla Contoy, para después subir a la plataforma yucateca. Esta ruta obedece en gran medida a los flujos de las corrientes predominantes (Chávez-Hidalgo, 2009).

Vulnerabilidad de la zona a los daños causados por las actividades marítimas. Cerca de 80% de los arrecifes del SAM-M están ubicados al interior de una franja de 2 km de anchura adyacente a la línea de playa, lo que los hace altamente vulnerables a las actividades humanas (SEMAR, 2002; Murray, 2007; García-Salgado *et al.*, 2008). *Acropora palmata* y *A. cervicornis*, que son las principales especies formadoras de arrecifes del SAM, dependen de la fertilización externa para reproducirse; por lo tanto, si la población adulta se reduce o se fragmenta (como consecuencia de impacto antropogénico o natural) hasta un umbral donde la reproducción no sea viable, ésta tenderá a desaparecer (Boulon *et al.*, 2005). Además, la estructura física de este frágil ecosistema está compuesta por carbonato de calcio la cual tiene un crecimiento muy lento. Por ejemplo, *A. palmata* y *A. cervicornis* tienen una tasa de crecimiento de 3 a 11.5 cm por año (Boulon *et al.*, 2005). Esto implica que el sistema de arrecifes de coral de la zona ha requerido de miles de años para formarse y, en caso de sufrir daños, podría no regenerarse. En este contexto, las principales amenazas para este frágil ecosistema se derivan de: (i) daño físico por encallamiento a causa del incremento en la intensidad del tráfico marítimo como resultado del traslado de mercancías y pasajeros y (ii) contaminación provocada por descargas intencionales y/o accidentales, siendo potencialmente peligrosas las descargas de petróleo y aguas residuales, de lastre y de sentina, y el vertimiento de basura y otros desechos humanos desde embarcaciones. El atlas de áreas sensibles a la presencia de hidrocarburos en las costas del Golfo de México y Mar Caribe (SEMAR, 2002), señala que las costas del estado de Quintana Roo poseen sustratos clasificados desde semipermeables con bajo potencial de penetración de hidrocarburos y cubrimiento, hasta altamente permeables donde el potencial de penetración y cubrimiento del hidrocarburo es alto, siendo particularmente vulnerables las áreas inundables con vegetación acuática, manglar y arrecifes. El reconocimiento internacional del SAM como ZMES, lleva aparejada la necesidad de ordenar y controlar el tráfico marítimo que soporta, evitando posibles derrames de contaminantes y, en un supuesto de contaminación accidental, minimizar sus efectos.

Importancia biogeográfica. El SAM es el complemento marítimo del Corredor Biológico Mesoamericano que comprende cinco estados del sur de México (Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán) y siete países centroamericanos, Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Esta es una región de 768,990 km², que corresponde a 0.51 % del total mundial, su diversidad de ecosistemas constituida en 22 ecorregiones alberga el 7% de la diversidad biológica del mundo (CBM, 2002). Su riqueza biológica se explica por ser un puente entre dos masas continentales, Norteamérica y Sudamérica, por dos océanos que bañan sus costas, el Pacífico y el Atlántico, y por lo accidentado de su territorio que da lugar a una gran variedad de paisajes desde lagos y llanuras hasta montañas, volcanes, arrecifes e islas.

Importancia económica. La principal actividad económica en el estado de Quintana Roo es el turismo, representando >70% del PIB estatal (Sánchez-Gil *et al.*, 2004; Daldabuit *et al.*, 2006a) y aporta el 33% al PIB nacional por concepto de turismo. Esta industria ha tenido un rápido crecimiento. En el año 2000 el número total de turistas fue de 5'002,847, los cuales dejaron una derrama económica de \$2809 millones de dólares. En 2008 el número de turistas se duplicó con 11'489,000 y una derrama económica de \$5400 millones de dólares. Este gran número de personas, originario de múltiples países, es atraído por los recursos naturales del SAM-M y sus extensas playas de arena blanca fina y mar azul turquesa, relacionado íntimamente con la salud ecológica de los arrecifes, la limpieza y la calidad de las aguas. Por lo tanto, las medidas asociadas a la declaración de ZMES traerían un indudable beneficio económico a través del turismo.

Importancia para los modos de subsistencia tradicional. En la línea costera de los cuatro países que comparten el SAM viven varios grupos étnicos, como garífunas, mayas y misquitos, que dependen para su sustento de actividades económicas ligadas a los recursos costeros y marinos, tales como la pesca y el turismo. En el caso de Quintana Roo, la captura de recursos pesqueros asociados al SAM-M es todavía una de las actividades económicas más importantes de la población maya que aún habita en la zona (Daldabuit *et al.*, 2006b).

Patrimonio cultural. Investigaciones de arqueología subacuática señalan que a lo largo de la costa se localizan estructuras mayas que pudieron haber servido como señalamientos o faros en tiempos anteriores a la llegada de los españoles. Muchas de estas edificaciones marcan exactamente los cortes o entradas a algunos de los arrecifes de la zona y en otros casos incluso señalan lugares de peligro. Un dato importante es que varios de los faros modernos están construidos muy cerca de estas estructuras (Luna-Erreguerena, 2002). Derivado del "Proyecto de Investigación de la Flota de la Nueva España de 1630-1631 e Inventario y Diagnóstico de los Recursos Culturales Sumergidos en el Golfo de México" desarrollado por el INAH, en Banco Chinchorro han

sido localizados 54 sitios arqueológicos sumergidos con restos de navíos del siglo XVI al XXI. Incluyen galeones españoles que realizaban viajes de reconocimiento al Nuevo Mundo, así como barcos piratas ingleses, franceses y holandeses, hasta naufragios recientes que se dieron con el huracán Wilma en 2005.

Importancia para la investigación. Los arrecifes del SAM-M son los más extensos de México, lo que resalta el interés para la investigación y el monitoreo científico, fundamental en la protección del ecosistema arrecifal. Las actividades de investigación que han llevado a cabo agencias federales y estatales, instituciones académicas nacionales e internacionales y otras organizaciones independientes han contribuido de forma sustancial a comprender aspectos de tipo biológico, ecológico, y oceanográfico del SAM-M (Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003).

Importancia para estudios de referencia. Las condiciones actuales que imperan en los arrecifes de la región hacen de la zona un laboratorio natural para realizar investigación científica ya sea en áreas prístinas o antropogénicamente impactadas. Los arrecifes de Banco Chinchorro no han tenido perturbaciones sustanciales por lo que se puede considerar que se encuentran en estado natural o casi natural. El estado de conocimiento de este sistema, idóneo como marco de referencia, se publicó en un número especial de la revista *Bulletin of Marine Science* (Suárez-Morales y Camarena-Luhrs, 2003).

Importancia para la educación. Diversas instituciones promueven actividades de divulgación a estudiantes, pescadores, habitantes de la región, guarda parques y prestadores de servicios sobre el valor, función, fragilidad y usos de los arrecifes de coral, para reducir los impactos de las actividades humanas y crear conciencia comunitaria que favorezca su conservación (Rodríguez-Martínez & Ortíz, 1999; SAM, 2003).

Factores operacionales de las actividades marítimas. Los puertos principales de Quintana Roo son: Cozumel, Isla Mujeres, Mahahual, Playa del Carmen, Puerto Morelos, Puerto Juárez, Punta Sam y Punta Venado. Además, se encuentran otros de importancia menor como Chetumal, Holbox, La Aguada, Puerto Aventuras, Punta Allen y Xcalak. La infraestructura portuaria en obras de atraque está dedicada principalmente a la actividad turística (84.1%), seguida por la pesquera (10.6%) y por último la comercial (5.3%). Durante el periodo 2000 a 2010 se realizaron aproximadamente 50000 viajes por año entre el continente y las islas de la región (i.e., Cozumel, Islas Mujeres), por embarcaciones de ruta de <100 hasta 660 TRB (tonelaje de registro bruto) dedicadas al transporte de pasajeros. Estas embarcaciones se entrecruzaron con aproximadamente 7,000 grandes buques >300 TRB dedicados al transporte de cargamento y de pasajeros. De igual manera, existe un intenso tráfico de embarcaciones particulares como yates y veleros, además de las dedicadas a la pesca artesanal y al turismo (aproximadamente 2000) siendo factores operaciona-

les a tener en cuenta debido a que pueden reducir la seguridad de la navegación.

Tipos de buques que transitan en la zona. Los barcos que navegan y atracan en los puertos de Quintana Roo son del tipo carga general, portacontenedores, graneleros, transbordadores, cruceros turísticos y embarcaciones de ruta, con dimensiones desde <100 hasta >100,000 TRB (Tabla 3). Con respecto al tráfico marítimo internacional que tiene paso inocente en la Zona Económica Exclusiva (ZEE), por el momento no se tiene información precisa. Sin embargo, considerando la importancia de la región para el transporte marítimo de petróleo crudo y sus derivados (Aguilera, 1982; Verini, 2004), lo más probable es que esté compuesto por buques petroleros con dimensiones de 25,000 hasta >200,000 TRB (Gadea, 2004).

Características del tráfico marítimo. La plataforma continental angosta con profundidades de 600 m a distancias de 5 a 15 km de la costa permite el tráfico de grandes buques dedicados al transporte de mercancía o pasajeros. Del 2000 al 2007 el número de embarcaciones tuvo un incremento, pasando aproximadamente de 55000 a 70000 por año (Tabla 4). A partir de 2008 se nota una disminución en el número de embarcaciones que transitan en las costas de Quintana Roo. Durante el periodo 2000-2007, de un total de 491438 embarcaciones, el 85.7% correspondió a embarcaciones de ruta y el 11.7% a transbordadores (Fig. 1). La cantidad de mercancía se incrementó aproximadamente de cuatro millones de toneladas en 2000 a casi ocho millones de toneladas en 2006

Tabla 3. Tonelaje de registro bruto (TRB) de las embarcaciones que transitan por las costas de Quintana Roo de acuerdo con su actividad. Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo (SICTRAM).

Actividad	Tipo de embarcación	TRB
Transporte de mercancía	Carga general	340-26000
	Portacontenedor	700-3800
	Granelero	1600-45000
	Transbordador ^a	4000-4300
Transporte de pasajeros	Crucero turístico	15000->100000
	Embarcaciones de ruta	<100-660
	Otros ^b	175-19000

^a Carguero no especializado que sirve principalmente para el transporte de vehículos, camiones, mercancía y combustible entre el continente y las principales islas (i.e., Cozumel, Isla Mujeres), aunque también transportan pasajeros. ^b Chalanas, buque tanque, barcos de investigación, abastecedores y remolcadores que esporádicamente atracan en los puertos de Quintana Roo.

Tabla 4. Serie histórica del número de embarcaciones que transitaron por las costas de Quintana Roo durante el periodo 2000 – 2010, de acuerdo con su tipo. Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo (SIC-TRAM) y Administración Portuaria Integral de Quintana Roo (APIQROO).

Año	Tipo de embarcación							Total
	Carga general	Contenedor	Granelero	Transbordador	Crucero turístico	Embarcación de ruta	Otro	
2000	7	157	50	6017	1553	48434	3	56221
2001	1	265	0	6064	1295	45689	4	53318
2002	5	317	118	5786	1358	44737	0	52321
2003	ndi	ndi	ndi	7080	1469	52808	ndi	61357
2004	1	313	113	9551	1416	63427	6	74827
2005	3	314	123	6690	1209	54699	15	63053
2006	2	369	130	7976	1102	51548	4	61131
2007	ndi	ndi	ndi	8182	1124	59904	ndi	69210
2008	ndi	ndi	ndi	7531	1062	57076	ndi	65669
2009	ndi	ndi	ndi	6609	873	47130	ndi	54612
2010	ndi	ndi	ndi	6201	1060	42360	ndi	49621

ndi: no se dispone de información.

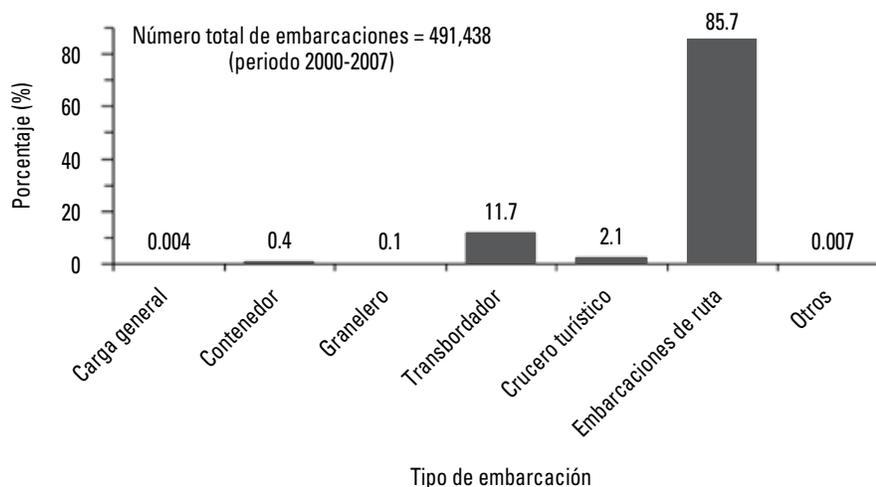


Figura 1. Porcentaje de embarcaciones que transitaron por las costas de Quintana Roo durante el periodo 2000 a 2007, según el tipo de embarcación.

(Tabla 5). El 75% correspondió a granel mineral representado básicamente por piedra triturada (Fig. 2) que utilizaron principalmente embarcaciones graneleras de 15000 a 45000 TRB, mientras que la mercancía general y contenedores fue transportada en buques de entre 300 a 15000 TRB (Fig. 3). Los 2288 buques mercantes de altura que atracaron en los puertos entre 2000 a 2006 enarbolaban banderas de 19 países, siendo los principales Antigua y Barbuda (72.7%) y Bahamas (19.8%; Tabla 6). También el transporte de pasajeros tuvo un incremento histórico, pasando de 5,714,900 en 2000 a casi siete millones en 2010 (Tabla 7), siendo transportados el 57.9% por embarcaciones de ruta, el 36.8% por cruceros turísticos y el 5.3% por transbordadores. Sin embargo, se desconoce la

ruta exacta que siguen estos buques a través del mar territorial, la distancia a los arrecifes de la región y a la distribución de las poblaciones de especies de interés para la conservación (i.e., tiburón ballena, tortugas marinas), así como la interacción entre buques.

Por otra parte, el mar Caribe tiene la particularidad de contar con numerosos estrechos abiertos a la navegación internacional, utilizados fundamentalmente para el tráfico petrolero y comercial (Aguilera, 1982; Endresen *et al.*, 2004). En este sentido, la principal ruta marítima cercana al SAM-M es el canal de Yucatán, entre Cuba y México, el cual tiene gran importancia estratégica mundial. Es utilizada principalmente por buques usuarios del Canal de

Tabla 5. Serie histórica del tipo de cargamento transportado por los puertos de Quintana Roo durante el periodo 2000 – 2007. Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo (SICTRAM) y Administración Portuaria Integral de Quintana Roo (APIQROO).

Año	Tipo de cargamento (miles de toneladas)				Total
	Carga general ^a	En contenedores ^b	Granel mineral ^c	Carga rodada ^d	
2000	3.9	29.8	2769.3	1054.2	3857.2
2001	45.3	28.3	0.0	966.6	1040.2
2002	18.8	33.0	6285.1	954.8	7291.7
2003	ndi	ndi	ndi	816.2	816.2
2004	3.3	32.4	6260.4	1098.9	7395.0
2005	75.1	33.8	6743.1	1250.2	8102.2
2006	1.2	37.1	6284.0	1628.3	7950.6
2007	ndi	ndi	ndi	1305.1	1305.1

^a Automóviles, cemento, equipo industrial, ganado bovino y vacuno, lanchas, tubería y mercancías varias; ^b Incluye aproximadamente 30 tipos de mercancías e.g., excavadoras, ganado bovino y vacuno, grúas, lanchas y yates, llantas, motocicletas, refacciones y tractores; ^c Piedra triturada; ^d Cargamento transportado entre el continente y las principales islas (i.e., Cozumel, Isla Mujeres) en transbordadores: vehículos particulares, camiones comerciales de transporte por carretera (e.g., pipas de combustible y gas, vehículos de mercancía granel y cajas secas) y otras unidades automotoras. ndi: no se dispone de información.

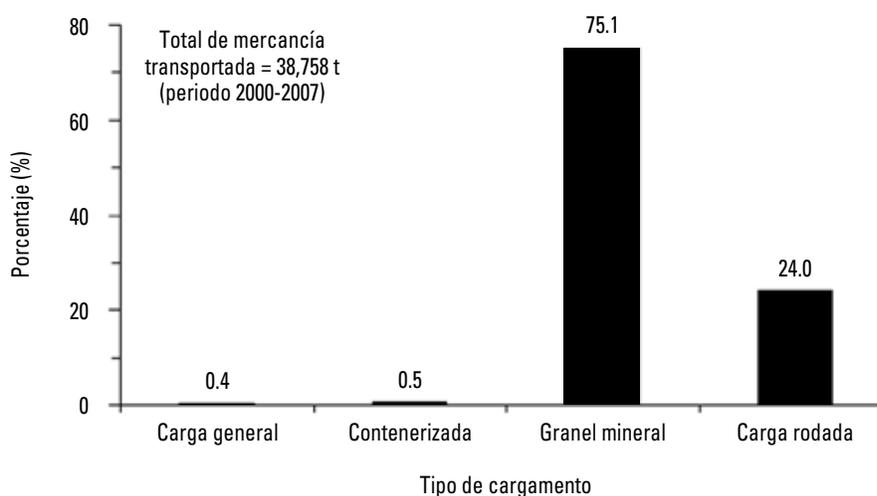


Figura 2. Porcentaje de mercancía transportada por las costas de Quintana Roo durante el periodo 2000 a 2007, según el tipo de cargamento.

Panamá, de puertos de Centroamérica y Sudamérica, así como del Pasaje del Viento (entre Cuba y Haití) con destino a puertos de Estados Unidos ubicados en el Golfo de México. De igual manera, se desconoce la ruta exacta que siguen estos buques, la distancia a la costa y la interacción entre buques. Sin embargo, de acuerdo con Endresen *et al.* (2004) el 60% de este tránsito se realiza dentro las 200 millas náuticas (ZEE), lo que incrementa la vulnerabilidad de la zona.

Sustancias perjudiciales transportadas en buques. En el estado de Quintana Roo, PEMEX no tiene instalaciones terrestres o marítimas para producir o refinar petróleo ni tampoco se considera dentro sus principales rutas marítimas. Sin embargo, una carac-

terística importante que presenta el mar Caribe es ser un área donde se produce, refina y transporta petróleo (Aguilera, 1982; Verini, 2004). Aunque se desconoce la cantidad de petróleo que es transportado a través del canal de Yucatán, el volumen puede ser estimado en miles de toneladas (Verini, 2004). Por otra parte, también existe intenso tráfico de cruceros turísticos en la región (Tabla 4). Un buque de crucero típico tiene a bordo todo lo que el pasajero pueda desear en un hotel flotante (e.g., piscinas, teatros, restaurantes, lavanderías). Todas estas actividades generan desechos líquidos y sólidos perjudiciales (e.g., agua contaminada con petróleo, aguas negras, químicos tóxicos, basura) que, todo o en parte, son vertidos por donde navegan (Herz & Davis, 2002). Reportes internacionales indican que el área del SAM-M, en par-

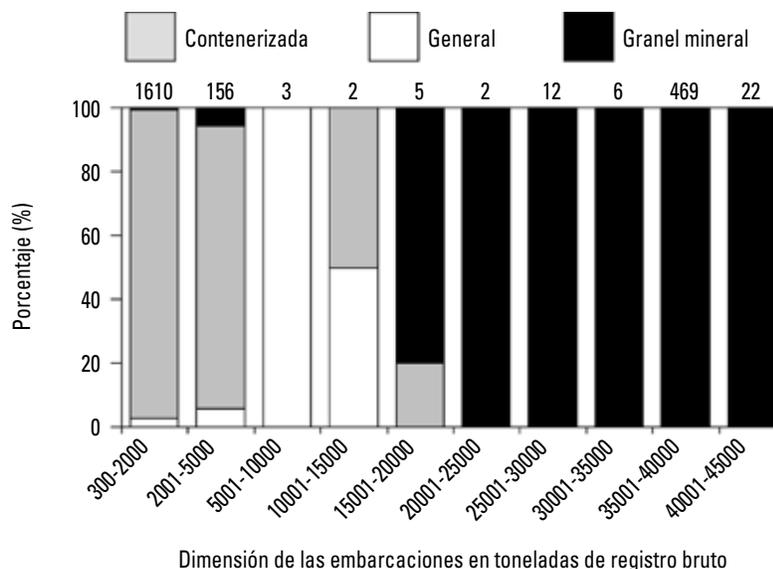


Figura 3. Porcentaje de contribución de los diferentes tipos de cargamentos en cada uno de los intervalos de dimensión en que fueron clasificadas las embarcaciones que transitaron por las costas de Quintana Roo durante el periodo 2000 a 2007, indicando en la parte superior de cada barra apilada el número de embarcaciones por intervalo de dimensión.

ricular las cercanías a isla Cozumel, son consideradas de mayor concentración de tráfico de cruceros y descarga de sustancias perjudiciales a nivel mundial, junto con Bahamas; Fort Lauderdale, E.U; Islas Vírgenes; Nassau y Puerto Rico (OCTA, 2006, McCarthy, 2008). Además, es importante señalar por su número al servicio de transbordadores entre el litoral y las islas de la zona (Tabla 4; Fig. 1). Estas embarcaciones, además de pasajeros, transportan todo tipo de mercancías imprescindibles para el abastecimiento de la población insular, desde derivados del petróleo, combustibles sólidos y gaseosos, productos químicos y mercancías perecederas (Tabla 5; Fig. 2).

Factores hidrográficos. Las características hidrográficas de Quintana Roo figuran en cartas náuticas en papel y electrónicas a diferentes escalas (Tabla 8). Sin embargo, aún no existe una carta náutica en la que se señalen los límites geográficos del SAM-M. Es necesario actualizar las cartas náuticas dado que, tras la entrada en vigor de una ZMES, es obligatorio suministrar cartas náuticas electrónicas que contengan la información digitalizada sobre las medidas de regulación de tránsito de buques, ayudas a la navegación, peligros y batimetría que permitan el trazado de rutas por parte de los buques a fin de conocer o evitar su ingreso a la ZMES, zonas protegidas, o zonas de peligro.

Factores meteorológicos. Los vientos dominantes son los alisios que se presentan casi todo el año con dirección este-oeste o suroeste. De noviembre a febrero se presentan vientos del norte con lluvias moderadas y baja temperatura. La temporada de ciclones tropicales del Caribe se presenta entre los meses de junio

a diciembre, y con mayor intensidad entre agosto y septiembre. En promedio por año se forman cerca de 10 ciclones tropicales y de cinco a seis alcanzan la intensidad de huracán (Lugo *et al.*, 2000). De 2000 a 2010, 84 huracanes se formaron en el Atlántico, de los cuales 18 atravesaron el mar Caribe y seis impactaron directamente las costas de Quintana Roo. Disponible en línea en: <http://weather.unisys.com> (consultado el 10 de octubre de 2011). Estos fenómenos son extremadamente energéticos, acarreado lluvia y viento intenso que generan oleaje extremo que incrementa las probabilidades de que los arrecifes sufran daños por impacto físico por el encallamiento de embarcaciones.

Factores oceanográficos. La variación espacial y temporal de las corrientes marinas y circulación costera ha sido estudiada por diversos autores (e.g., Merino, 1986, 1997; Sheinbaum *et al.*, 2002; Chávez *et al.*, 2003; Ezer *et al.*, 2005; Cetina *et al.*, 2006; de Jesús-Navarrete, 2006; Coronado *et al.*, 2007). Los resultados indican que el SAM-M es adyacente a una de las corrientes de frontera más intensas y dinámicas del planeta, la Corriente de Yucatán, cuyas características oceanográficas, además de determinar en gran medida las condiciones físicas del ambiente costero, tiene implicaciones en el transporte de nutrientes, larvas y contaminantes. Merino (1986) señala que, como efecto de los patrones de circulación costera superficial: (i) los objetos, organismos y contaminantes que se encuentren en el agua superficial cerca de la costa a todo lo largo del margen oriental y parte del margen norte de la península de Yucatán tenderán a derivar hacia la costa de la península. Este efecto es muy probable hasta una distancia de 5 NM, (ii) al sur de Cozumel la mayoría de ellos también derivarán

Tabla 6. Serie histórica de buques mercantes de altura atracados en los puertos de Quintana Roo, clasificados por su bandera, indicando el total durante el periodo 2000 a 2006 y el porcentaje correspondiente a cada país. Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo (SICTRAM).

País	Año						Total	%
	2000	2001	2002	2004	2005	2006		
Alemania	2	0	0	0	0	0	2	0.1
Antigua y Barbuda	152	265	316	294	283	353	1663	72.7
Bahamas	47	0	100	106	111	88	452	19.8
Barbados	0	0	0	0	0	1	1	0.0
Bolivia	0	0	0	1	0	0	1	0.0
Chipre	1	0	0	0	0	0	1	0.0
Dinamarca	4	2	0	0	0	2	8	0.3
Dominica	0	0	0	0	0	10	10	0.4
Eslovaquia	0	0	0	0	0	1	1	0.0
EUA	0	0	1	0	0	0	1	0.0
Gran Caimán	0	0	3	0	0	0	3	0.1
Holanda	0	1	0	0	0	0	1	0.0
Honduras	0	0	1	19	31	13	64	2.8
Islas Marshall	0	0	0	0	0	5	5	0.2
Jamaica	0	0	0	0	0	1	1	0.0
Liberia	5	0	11	7	9	19	51	2.2
México	1	0	0	0	3	0	4	0.2
Noruega	0	0	0	0	0	6	6	0.3
Panamá	0	0	4	0	3	1	8	0.3
Vanuatu	0	0	4	0	0	1	5	0.2

Tabla 7. Serie histórica del número de pasajeros transportados por los puertos de Quintana Roo durante el periodo 2000 – 2010, de acuerdo con el tipo de embarcación. Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo (SICTRAM) y Administración Portuaria Integral de Quintana Roo (APIQROO).

Año	Número de pasajeros			
	Transbordador	Crucero turístico	Embarcación de ruta	Total
2000	256950	1815282	3642668	5714900
2001	240333	1917337	3631233	5788903
2002	242224	2596000	3513959	6352183
2003	308028	2929455	3992415	7229898
2004	413276	3048234	4243880	7705390
2005	373937	2701085	4242486	7317508
2006	430117	2590197	4247210	7267524
2007	424911	2703435	4608560	7736906
2008	451933	2659252	4640190	7751375
2009	467611	2265020	3939294	6671295
2010	467878	2962019	3595141	7025038

Tabla 8. Cartas náuticas que comprenden la Zona Económica Exclusiva y el mar territorial en el estado de Quintana Roo. Fuente: Catálogo de Cartas y Publicaciones Náuticas 2007-2008, Secretaría de Marina Armada de México.

No. Carta	Título	Escala	Formato Raster ^a	Fecha de edición
Regional				
S. M. 001	Zona Económica Exclusiva	1:3700000	Sí	Noviembre 2005/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 030	Río Bravo a Bahía de Chetumal	1:1200000	Sí	Septiembre 2005/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 4 (INT)	Golfo de México y Mar Caribe	1:3725000	Sí	Diciembre 2005/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
General				
S. M. 900	Canal de Yucatán y proximidades	1:906530	Sí	Febrero 1977/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 922	Isla Mujeres a Isla Cozumel	1:100000	Sí	Enero 2003/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 922.1	Isla Mujeres, Cancún y proximidades	1:32500	Sí	Octubre 2001/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 922.2	Bahía Mujeres	1:17500	Sí	Octubre 2007
S. M. 922.3	Puerto Morelos	1:15000	Sí	Octubre 2007
S. M. 922.4	Isla Cozumel	1:60000	Sí	Octubre 2007
S. M. 922.5	San Miguel de Cozumel	1:15000	Sí	Octubre 2007
S. M. 922.6	Playa del Carmen	1:10000	Sí	Octubre 2007
S. M. 923.2	Bahía de la Ascensión	1:50000	Sí	Abril 2005/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 924	Bahías Espíritu Santo y la Ascensión	1:100000	Sí	Diciembre 2005/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 927	Puerto Aventuras	1:3500	Sí	Julio 2001/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
S. M. 931.1	Bahía del Espíritu Santo	1:37500	Sí	Septiembre 2006
S. M. 931.2	Mahahual	1:15000	Sí	Diciembre 2003/Reimp. Corr. A.M. Sep. 2006
Electrónica S-57				
MX1001	Zona Económica Exclusiva	1:3700000		23 agosto 2005
MX2009	Canal de Yucatán y proximidades	1:906530		31 mayo 2006
MX3060	Isla Mujeres a Isla Cozumel	1:100000		29 junio 2006

^a Cartas náuticas electrónicas con imágenes digitales georreferidas que son reproducciones idénticas de una carta náutica en papel.

hacia la costa desde una distancia de hasta 30 NM en las inmediaciones de Banco Chinchorro. En cambio, al norte de los 20° N, la deriva a una distancia de la costa más allá de 8 a 14 NM se dará hacia el eje de la Corriente de Yucatán, pudiendo existir transporte hacia el Golfo de México, la península de Florida o Cuba y (iii) dentro de la zona costera, la deriva será hacia el norte, excepto muy cerca de la costa en que podría ser hacia el sur. Al norte de Cabo Catoche la deriva sería hacia el oeste en dirección paralela a la costa. Por lo tanto, la descarga intencional o accidental de contaminantes en las costas de Quintana Roo, dependiendo de su magnitud y ubicación espacial, no solo tendría repercusiones ecológicas, económicas y sociales en los arrecifes del SAM-M, sino también en el Golfo de México o más allá de las fronteras nacionales. Por otra parte, Ezer *et al.* (2005) señalaron que las variaciones en las corrientes pueden tener implicaciones en las actividades biológicas como las agregaciones reproductivas o la dispersión larvaria, tal como fue observado por Briones-Fourzán *et al.* (2008) para el asentamiento larvario de la langosta *P. argus*.

Incidentes marítimos. Existen pruebas sustanciales que indican que el tráfico marítimo nacional e internacional ha causado o tiene el potencial de causar daños físicos a las características ecológicas del SAM-M. Por ejemplo, en la reserva de la biosfera Banco Chinchorro han sido localizados 18 galeones en su mayoría españoles e ingleses de los siglos XVI a XVIII, además de diversos restos de la segunda guerra mundial y barcos cargueros recientes. La CONANP reportó entre 1997 y 2008, veinticuatro encallamientos registrados en la zona del SAM-M con un daño estimado mayor a los 12943 m² (Arellano-Guillermo *et al.*, 2009). Información actualizada entre 1996 y el 2010 señala al menos 40 accidentes con un daño total al arrecife de coral superior a los 50000 m², en los cuales han estado involucrados cargueros, transbordadores, cruceros turísticos, barcos pesqueros, remolcadores, yates y veleros particulares (Tabla 9). Del análisis de esta información se deriva que: (i) los arrecifes del parque nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, son los que presentan mayor número de incidentes marítimos con 19 y 5614 m² de

Tabla 9. Serie histórica de incidentes marítimos en Quintana Roo, indicando el total de área arrecifal afectada. Fuente: García-Salgado & Nava-Martínez, 2006; Arellano-Guillermo *et al.*, 2009.

Fecha	Nombre de embarcación	Tipo de embarcación	Lugar del incidente	Tipo de incidente	Área arrecifal afectada (m ²)
24/Abr./1996	Century	Crucero turístico	Arrecife Paraíso, Cozumel	Impacto con cadena de ancla	ndi
14/Sept./1996	Guía	ndi	Punta Nizuc	Encallamiento	3
27/Feb./1997	Crisis	ndi	Punta Nizuc	Encallamiento	30
06/Sep./1997	Reef Express III	Servicios turísticos	Punta Nizuc	Encallamiento	56
02/Oct./1997	Scuba III Mr Tom	Servicios turísticos	Punta Nizuc	Encallamiento	308
17/Dic./1997	Leeward	Crucero turístico	Punta Cancún	Encallamiento	465.5
28/Dic./1997	Mr. Boss	Yate	Punta Cancún	Daño durante el rescate	2050
31/Dic./1997	Lady Jenn	ndi	ndi	Encallamiento	20
01/Ene./1998	Turquoise	Yate	Arrecifes de Cozumel	Daño con ancla	32.9
07/Abr./1998	Emily Cheramie	Remolcador	Banco Chinchorro	Encallamiento	215.8
11/Oct./1998	Mayan Princess	ndi	Punta Cancún	Encallamiento	59.1
23/Abr./1999	Auriga	ndi	ndi	Encallamiento	40
08/May./1999	Don Fernando	Camaronero	Costa occidental Isla Mujeres	Encallamiento	300
12/Feb./2000	Intuition II	ndi	ndi	Daño con ancla	430
13/Feb./2000	Carrusel Nassau	Crucero turístico	Cozumel	Derrame de combustible	ndi
05/Mar./2000	Poopola	ndi	Punta Nizuc	Encallamiento	20
09/May./2000	B/M Kommandor Jack	ndi	Punta Cancún	Daño con ancla	100
08/Oct./2001	Tatich	Remolcador	ndi	Encallamiento	400
11/Mar./2002	Miss Chloe	ndi	Punta Cancún	Encallamiento	300
2002	Ndi	ndi	Costa occidental Isla Mujeres	Encallamiento	400
2003	Brisa	Velero	Sian Ka'an	Encallamiento	ndi
2003	Malabares	Velero	Banco Chinchorro	Encallamiento	200
03/Feb./2004	Tempest Fugit	Velero	Punta Cancún	Encallamiento	15
19/Mar./2004	Sodiemieter	Velero	Punta Nizuc	Encallamiento	10
21/Oct./2005	Cozumel I	Trasbordador	Banco Chinchorro	Encallamiento	40000
21-23/Oct./2005	Bahía del Espíritu Santo	Trasbordador	Punta Sam	Encallamiento	Ninguna
2005	Sand Dollar	ndi	Arrecifes de Puerto Morelos	Encallamiento	ndi
2005	MS Inspiration	Crucero	Arrecifes de Cozumel	Maniobra del barco	2080
2005	Iemanja	ndi	Banco Chinchorro	Daño con ancla	ndi
22/Nov./2006	Ultramar I	Trasbordador	Cozumel	Encallamiento	Ninguna
2006	Puch	Velero	Arrecifes de Puerto Morelos	Encallamiento	181
09/Abr./2007	"DixieGig"	Yate	ndi	Encallamiento	114
05/Jun./2007	- 4 embarcaciones - i. Discovery ii. La Concha iii. Dos chalanas	Servicios turísticos remolcadores	Punta Nizuc	Encallamiento	1200
18/Ago./2007	Princesa Maya	Servicios turísticos	Laguna Ciega, Cozumel	Encallamiento	Ninguna
12/Nov./2007	Mighty Lady	Velero	Playa Norte de Isla Mujeres	Encallamiento	Ninguna
13/Nov./2007	Popola	Yate	Playa Norte de Isla Mujeres	Encallamiento	Ninguna
14/Nov./ 2007	El Arcangel	Trasbordador	Sur de Puerto Morelos	Encallamiento	Ninguna
06/Abr./2008	Cembay	Carguero	Arrecifes Sábalo, Barracuda y Tortugas en la Riviera Maya	Encallamiento	1554
07/Jun./2008	Sea Star	Servicios turísticos	Punta Cancún	Encallamiento y semihundimiento	280
16/Jun./2010	Capitán Miranda	Velero, armada Uruguaya	Punta Nizuc	Anclaje	17.8

Total de área arrecifal dañada = 50882.1 m²

arrecife dañados, mientras que en la reserva de la biosfera Banco Chinchorro han ocurrido cuatro incidentes, con 40416 m² de arrecife dañados; (ii) los géneros de coral que más daños han sufrido en su cobertura son: *Acropora*, *Agaricia*, *Millepora*, *Montastraea* y *Porites* (García-Salgado & Nava-Martínez, 2006); y (iii) que los encallamientos comprenden más del 70% de los accidentes registrados, lo que pone de manifiesto los peligros para la navegación en estas aguas. Las causas principales de estos encallamientos han sido las condiciones meteorológicas adversas (i.e., nortes, tormentas tropicales, huracanes), imprecisiones en las cartas de navegación, falta de señalización, negligencia o impericia de los tripulantes y fallas mecánicas de las embarcaciones. Además se han presentado daños al arrecife por anclaje, por depósito de sedimento durante maniobras y durante el rescate de embarcaciones.

Medidas de protección y de regulación del tráfico marítimo. Las medidas de protección y de regulación del tráfico marítimo son parte fundamental de una propuesta de ZMES. Si bien en México, Belice, Guatemala y Honduras existen leyes, normas y otros instrumentos jurídicos nacionales e internacionales que regulan el tráfico marítimo y la protección ambiental, a la fecha no existe un acuerdo de legislación para la conservación del SAM. En 2004 la Unidad Coordinadora del Proyecto SAM diseñó los "Acuerdos de Aplicación Común Para la Zona del SAM", en el que los países que integran la región planean atender y homologar aspectos turísticos, pesqueros y de manejo de áreas protegidas (UCP, 2004).

En México, la Secretaría de Marina generó el atlas de áreas sensibles a la presencia de hidrocarburos para las costas del Golfo de México y mar Caribe (SEMAR, 2002). En función de la persistencia natural de los hidrocarburos u otras sustancias nocivas, facilidad de limpieza, presencia de organismos con alguna categoría de protección o importancia comercial, presencia de ANP y uso de los recursos naturales por el hombre, se definieron índices de sensibilidad ambiental (ISA) en una escala de 1 a 10 (poca a alta vulnerabilidad). Las áreas con arrecifes, vegetación acuática y zonas de manglar tienen un ISA de 10. Esta información aunada a lo desglosado en los temas previos (e.g., hábitats críticos, dependencia ecológica, diversidad, vulnerabilidad de la zona a los daños causados por las actividades marítimas, factores oceanográficos), suministra la pauta para sugerir un criterio ecológico ante la OMI para la propuesta de SAM-M como ZMES. Sin embargo, no es necesario que este sea el mismo criterio para la totalidad del SAM, existiendo la posibilidad que cada país proponga el que mejor satisfaga sus objetivos de protección ante las actividades marítimas internacionales (OMI, 2005). El SAM-M podría estar compuesto por las diez ANP's marino-costeras (cuatro reservas de la biósfera y seis parques naturales) en el estado de Quintana Roo que incluyen arrecifes coralinos, hábitats asociados y especies en riesgo (Tabla 1: Fig. 4). Estas ANP's cuentan con una estrategia de política ambiental bien definida y son consideradas, a excepción del parque nacional Costa Occidental de Isla Mujeres,

Punta Cancún y Punta Nizuc, de importancia internacional como sitios Ramsar. La extensión geográfica del SAM-M podría abarcar el área marina limitada exteriormente por una línea poligonal definida por el mar territorial (12 millas náuticas) que rodea las diez ANP's y a la distribución de la barrera de arrecifes de coral. Cabe indicar que la aprobación final de la extensión geográfica del SAM como ZMES será un tema de debate más político que científico (e.g., Roberts et al., 2005) y deberá superar presiones, como en el caso de Islas Canarias, de los principales países de abanderamiento de los buques (e.g., Liberia, Panamá y Rusia) y de diversas organizaciones de la industria marítima, quienes se ven afectadas por las medidas de protección. Por ello la eventual propuesta del SAM como ZMES deberá respaldarse con un intenso cabildeo durante las asambleas de la OMI.

Dentro del SAM-M, una medida de protección sería, por ejemplo, designar como "zonas a evitar" cada una de las diez ANP's (con los límites geográficos establecidos en los programas de manejo), considerando su alta vulnerabilidad y que en éstas se llevan a cabo procesos biológicos y físicos que favorecen la conservación de la biodiversidad regional. Estas zonas particularmente sensibles deben ser evitadas para prevenir riesgos de contaminación y daños al medio ambiente por todos o ciertos buques, por ejemplo, los que transportan mercancías potencialmente peligrosas, con cierta capacidad de carga comercial, y/o de gran calado. El tráfico marítimo se podría regular mediante: (i) un sistema de notificación obligatoria para ingreso y salida del SAM-M por parte de los buques que transportan hidrocarburos o mercancías peligrosas, (ii) sistemas de asignación de rutas "autopistas marinas", (iii) vías recomendadas y/o (iv) rutas de doble sentido. Estas medidas de protección y regulación han sido adoptadas con éxito por diversas ZMES a nivel mundial (Tabla 10). Sin embargo, es necesario que las instancias gubernamentales correspondientes definan las regulaciones técnicas, de seguridad y jurídicas para su implementación. También es posible sugerir nuevas medidas de protección que podrían ser aprobadas o adoptadas por la OMI con la condición de que tengan una base jurídica determinada (OMI, 2005).

En junio de 2010 se aprobó por parte del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environmental Facility: GEF) la etapa II del proyecto SAM lo que permitirá consolidar los esfuerzos en curso por parte de México, Belice, Guatemala y Honduras para la gestión sostenible de los ecosistemas compartidos. Además, Belice, Guatemala y Honduras están desarrollando un proyecto regional para la protección ambiental y control de la contaminación originada por el transporte marítimo en el Golfo de Honduras (disponible en línea en: http://www.iho-machc.org/urcp/proyecto_zmes/welcome.html consultado el 10 de octubre de 2011), cuyos resultados contribuirán en gran medida a una propuesta conjunta de ZMES.

Marco legal del SAM en México. Este tema no constituye una directriz en términos de la resolución A.982(24) de la OMI (2005)

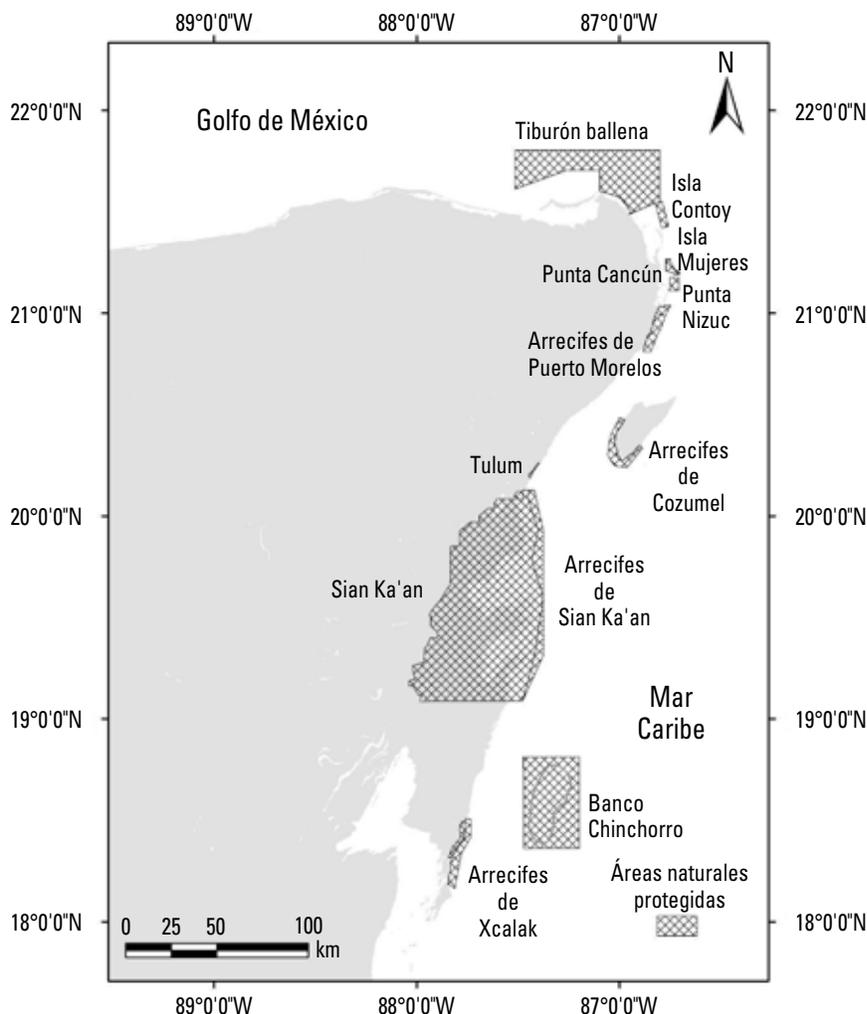


Figura 4. Áreas naturales protegidas marino-costeras en el estado de Quintana Roo que comprenden dentro de sus límites arrecifes de coral y hábitats asociados.

para designar una ZMES, por lo que su análisis e implementación es responsabilidad del estado mexicano. La importancia de este aspecto es crítica pero su análisis e implementación resta, en gran medida, por desarrollar. El reto es definir qué instrumentos legales utilizar para conciliar la legislación del estado mexicano con la eventual declaración del SAM como ZMES. Entre los instrumentos legales que deberán ser analizados se encuentran, en el plano internacional, la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1982), el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL), el Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS), el Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, el Acuerdo latinoamericano sobre control de buques por el estado rector del puerto, el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, el Convenio Internacional sobre el Control de los Sistemas Antiincrustantes Perju-

diciales en los Buques, el Convenio Internacional de un Fondo Internacional de Indemnización de Daños debidos a Contaminación por hidrocarburos, el Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos, 1990 (OPRC/90), el Convenio para el establecimiento de la Zona de Turismo Sustentable del Caribe (ZTSC) y el Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil por Daños Causados por la Contaminación de las Aguas del Mar por Hidrocarburos.

En el plano nacional, se deberán analizar, entre otras, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la Ley Federal de Mar, la Ley de Navegación y Comercio Marítimo, la Ley de Puertos, la Ley de Aguas Nacionales, el Reglamento para prevenir la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias y el Reglamento de inspección de seguridad marítima. Más allá del marco nacional, es necesario evaluar los marcos legales en los cuatro países de la región del SAM con la finalidad de corregir los vacíos y/o contradicciones legales que

Tabla 10. Zonas marítimas especialmente sensibles (ZMES), indicando las medidas de protección adoptadas.

ZMES	Ubicación	Año de declaración	Medidas de protección correspondiente
Gran Barrera de Arrecifes y el estrecho de Torres	Australia y Papua Nueva Guinea	1990 y 2005	SNOB, pilotaje obligatorio, ruta de doble sentido
Archipiélagos de Sabana y Camagüey	Cuba	1997	ZE
Isla de Malpelo	Colombia	2002	ZE
Cayos de Florida	Estados Unidos	2002	ZE, APA
Mar de Wadden	Dinamarca, Alemania y Holanda	2002	Ruta de aguas profundas
Reserva nacional Paracas	Perú	2003	ZE
Aguas de Europa Occidental	Bélgica, España, Francia, Irlanda, Portugal y Reino Unido	2004	SNOB
Islas Canarias	España	2005	ZE, EST, SNOB
Archipiélago Galápagos	Ecuador	2005	ZE, vía recomendada
Área en el Mar Báltico	Dinamarca, Estonia, Finlandia, Alemania, Latvia, Lituania, Polonia y Suecia	2005	EST
Monumento Marino Nacional			
Papahānaumokuākea	Estados Unidos	2007	ZE, SNOB

ZE : Zonas a evitar (Areas to be avoided, ATBA, por sus siglas en inglés), medida de asignación de rutas que incluye un área dentro de límites definidos en los cuales la navegación es especialmente peligrosa o es excepcionalmente importante evitar los accidentes, y que debe ser evitada por todas las embarcaciones, o por cierta clase de embarcaciones.

APA: Área donde se prohíbe anclar (No Anchoring Area, NAA, por sus siglas en inglés), medida de asignación de rutas que incluye un área dentro de límites definidos donde es peligroso anclar o podría tener como resultado un daño inaceptable al medio ambiente marino. El anclando en un APA debe ser evitado por todas las embarcaciones o cierta clases de embarcaciones, menos en caso de peligro inmediato a la embarcación o las personas a bordo.

EST: Esquema para separar tráfico (Traffic Separation Scheme, TSS, por sus siglas en inglés), sistema de asignación de rutas que apunta a separar corrientes opuestas de tráfico por medios apropiados y por el establecimiento de carriles de tráfico.

SNOB: Sistema de notificación obligatoria para buques (Mandatory Ship Reporting System, MSR, por sus siglas en inglés), medida relacionada con la seguridad de la navegación y la prevención de la contaminación, diseñada para todas las embarcaciones o cierta clase de embarcaciones. Ejemplo: las embarcaciones comunican su posición a la autoridad designada para que desde un centro de monitoreo especializado pueda realizarse un seguimiento por radar, o cualquier otro medio de detección y seguimiento del tráfico. De esta forma se puede mejorar la rapidez en la respuesta en caso de que ocurra un accidente o un buque se encuentre en una situación de peligro.

Pilotaje obligatorio: acción de dirigir un buque, especialmente en la navegación de entrada y salida de una zona, puerto, muelle o embarcadero.

Ruta de aguas profundas (Deep-Water route, por sus siglas en inglés): medida de asignación de rutas para cierta clase de buques; por ejemplo, los que transportan mercancías potencialmente peligrosas y/o con ciertas dimensiones.

Ruta de doble sentido: una ruta dentro de límites definidos dentro de la cual se establece tráfico de doble sentido, apuntado a proporcionar el paso seguro de embarcaciones por aguas donde la navegación es difícil o peligrosa.

Vía recomendada: una ruta que se ha examinado especialmente para asegurar, hasta donde sea posible, que esté libre de peligros y por la cual las embarcaciones son aconsejadas a navegar.

dificulten el establecimiento de acuerdos comunes en términos de regulación del tráfico, manejo y protección de los recursos naturales.

CONCLUSIÓN

El presente documento proporciona una síntesis del estado actual de información para el SAM-M sobre diversos temas establecidos por la OMI en la resolución A.982(24) y marca la pauta sobre el trabajo que resta por realizar ante una eventual propuesta conjunta entre México, Belice, Guatemala y Honduras para plantear el SAM como ZMES. Se debe poner énfasis en una propuesta conjunta puesto que en la práctica ningún área protegida

es capaz de sostener, de manera individual, toda la diversidad que permanente o temporalmente está presente al interior de sus límites, si no se contempla el manejo de áreas contiguas que den continuidad a procesos biológicos y físicos de los cuales dependen las especies a proteger. Esta situación es más evidente en hábitats marinos donde la dispersión de larvas y juveniles, y su posterior reclutamiento a las poblaciones adultas, se lleva a cabo generalmente en áreas geográficas distantes entre sí (Bezaury-Creel, 2005). La carga que representaría la creación de la ZMES para las actividades marítimas nacionales e internacionales sería mínima, mientras que los beneficios a obtener (incremento de la seguridad marítima, protección y conservación de recursos ecológicos, socioeconómicos, científicos y culturales, educación y

fomento a la conciencia pública y mejora de la capacidad para responder a las emergencias marítimas) serían sustanciales.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo de revisión fue posible gracias al proyecto CONANP/ RPY/CC/12/07. Los autores expresan su agradecimiento a: J. A. Santamaría Ucán, C. E. Enríquez Ortiz y E. R. Guzmán Gómez, por sus contribuciones a la recopilación de información y opiniones que mejoraron sustancialmente el contenido del manuscrito; y a la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, por suministrar los datos del Sistema de Información y Control de Tráfico Marítimo (SICTRAM).

REFERENCIAS

- AGRÁZ-HERNÁNDEZ, C. M., R. NORIEGA-TREJO, J. LÓPEZ-PORTILLO, F. J. FLORES-VERDUGO & J. J. JIMÉNEZ-ZACARÍAS. 2006. *Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México*. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- AGUILAR-PERERA, A. 2006. Disappearance of a Nassau grouper spawning aggregation off the southern Mexican Caribbean coast. *Marine Ecology Progress Series* 327: 289-296.
- AGUILAR-PERERA, A. & W. AGUILAR-DÁVILA. 1996. Spawning aggregation of Nassau grouper *Epinephelus striatus* (Pisces: Serranidae) in the Mexican Caribbean. *Environmental Biology of Fishes* 45: 351-361.
- AGUILERA, J. A. 1982. Geopolítica y petróleo en la cuenca del Caribe. *Nueva Sociedad* 58: 43-54.
- ALDANA, D., E. BAQUEIRO-CÁRDENAS, I. MARTÍNEZ-MORALES, R. I. OCHOA-BÁEZ & T. BRULÉ. 2003. Gonad behavior during peak reproduction period of *Strombus gigas* from Banco Chinchorro. *Bulletin of Marine Science* 73: 241-248.
- ÁLVAREZ-CADENA, J. N., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ, A. R. ALMARAL-MENDIVIL, M. ORNELAS-ROA & A. UICAB-SABIDO. 2007. Larvas de peces del litoral arrecifal del norte de Quintana Roo, Mar Caribe de México. *Hidrobiológica* 17: 139-150.
- ÁLVAREZ-CADENA, J. N., A. R. ALMARAL-MENDIVIL, U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ & A. UICAB-SABIDO. 2008. Composición, abundancia y distribución de las especies de quetognatos del litoral norte del Caribe de México. *Hidrobiológica* 18: 37-48.
- ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, J. H. 2003. Trophic model of a fringing coral reef in the Southern Mexican Caribbean. *Fisheries Centre Research Reports* 11: 227-235.
- ANDRÉFOUËT, S., P. J. MUMBY, M. MCFIELD, C. HU & F. E. MULLER-KARGER. 2002. Revisiting coral reef connectivity. *Coral Reefs* 21: 43-48.
- ARELLANO-GUILLERMO, A., R. ROBLES DE BENITO & F. AGUILAR-SALAZAR. 2009. Manual coordinado de procedimientos ambientales, administrativos y legales para la atención inmediata a los arrecifes por encallamientos. SEMARNAT-SEMAR-SCT-PGR-CONABIO. 171 p.
- ARIAS-GONZÁLEZ, J. E. 1998. Trophic models of protected and unprotected coral reef ecosystems in the South of the Mexican Caribbean. *Journal of fish Biology* 53: 236-255.
- ARIAS-GONZÁLEZ, J. E., P. LEGENDRE & F. A. RODRÍGUEZ-ZARAGOZA. 2008. Scaling up beta diversity on Caribbean coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366: 28-36.
- AXIS-ARROYO, J., B. MORALES-VELA, D. TORRUCO-GÓMEZ & M. E. VEGA-CENDEJAS. 1998. Variables asociadas con el uso de hábitat del manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), en Quintana Roo, México (Mammalia). *Revista de Biología Tropical* 46: 791-803.
- BASURTO, M., E. ZÁRATE & G. ESCOBEDO. 1996. Lista de especies de tiburones y rayas de Quintana Roo. *Serie Cuadernos de Sian Ka'an* 8: 1-32.
- BAUMS, I. B., M. W. MILLER & M. E. HELLBERG. 2005. Regionally isolated populations of an imperiled Caribbean coral, *Acropora palmata*. *Molecular Ecology* 14: 1377-1390.
- BAUMS, I. B., M. W. MILLER & M. E. HELLBERG. 2006. Geographic variation in clonal structure in a reef-building Caribbean coral, *Acropora palmata*. *Ecological Monographs* 76: 503-519.
- BECK, M. W., K. L. HECK, K. W. ABLE, D. L. CHILDERS, D. B. EGGLESTON, B. M. GILLANDERS, B. HALPERN, C. G. HAYS, K. HOSHINO, T. J. MINELLO, R. J. ORTH, P. F. SHERIDAN & P. WEINSTEIN. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience* 51: 633-641.
- BELTRÁN-TORRES, A. U. & J. P. CARRICART-GANIVET. 1999. Lista revisada y clave para los corales pétreos zooxantelados (Hidrozoa: Milleporina, Anthozoa: Scleractinia) del Atlántico mexicano. *Revista de Biología Tropical* 47: 813-829.
- BEZAURY-CREEL, J. E. 2005. Protected areas and coastal and ocean management in México. *Ocean and Coastal Management* 48: 1016-1046.
- BOULON, R., M. CHIAPPONE, R. HALLEY, W. JAAP, B. KELLER, B. KRUCZYNSKI, M. MILLER & C. ROGERS. 2005. *Atlantic Acropora Status Review*. Report to National Marine Fisheries Service, Southeast Regional Office, USA. 152 p.
- BRIONES-FOURZÁN, P., J. CANDELA & E. LOZANO-ÁLVAREZ. 2008. Postlarval settlement of the spiny lobster *Panulirus argus* along the Caribbean coast of Mexico: Patterns, influence of physical factors, and possible sources of origin. *Limnology and Oceanography* 53: 970-985.
- CASTELLANOS I. & R. GASCA. 2002. Eufáusidos (Crustacea: Malacostraca) del centro y sur del Mar Caribe mexicano. *Revista de Biología Tropical* 50: 77-85.
- CBM. 2002. *El Corredor Biológico Mesoamericano: una plataforma para el desarrollo sostenible regional*. CBM-CCAD. Serie Técnica, 01. Managua, Nicaragua. 24 p.
- CETINA, P., J. CANDELA, J. SHEINBAUM, J. OCHOA & A. BADAN. 2006. Circulation along the Mexican Caribbean coast. *Journal of Geophysical Research* 111: C8.

- CETZ-NAVARRO, N. P., J. ESPINOZA-AVALOS, A. SENTÍES-GRANADOS & L. I. QUAN-YOUNG. 2008. Nuevos registros de macroalgas para el Atlántico mexicano y riqueza florística del Caribe mexicano. *Hidrobiológica* 18: 11-19.
- CHÁVEZ, G., J. CANDELA & J. OCHOA. 2003. Subinertial flows and transports in Cozumel Channel. *Journal of Geophysical Research* 108(C2): 3037.
- CHÁVEZ-HIDALGO, A. 2009. Conectividad de los arrecifes coralinos del Golfo de México y Caribe mexicano. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, BCS, México. 167 p.
- CORONADO, C., J. CANDELA, R. IGLESIAS-PRieto, J. SHEINBAUM, M. LÓPEZ & F. J. OCAMPO-TORRES. 2007. On the circulation in the Puerto Morelos fringing reef lagoon. *Coral Reefs* 26: 149-163.
- COWEN, R. K., C. B. PARIS & A. SRINIVASAN. 2006. Scaling of connectivity in marine populations. *Science* 311: 522-527.
- DALTAUBIT, G. M., L. M. VÁZQUEZ, H. CISNEROS & G. A. RUIZ. 2006a. *El Turismo Costero en la Ecorregión del Sistema Arrecifal Mesoamericano. México*. UNAM-CRIM, México. 385 p.
- DALDAUBIT, G. M., H. CISNEROS & E. VALENZUELA. 2006b. Globalización y turismo en el sur de Quintana Roo. *Estudios de Cultura Maya* 27: 99-124.
- DE JESÚS-NAVARRETE, A. 2003. Diversity of nematoda in a Caribbean atoll: Banco Chinchorro, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 73: 47-56.
- DE JESÚS-NAVARRETE, A. 2006. Trayectoria de tarjetas de deriva liberadas en Banco Chinchorro, Quintana Roo. *Universidad y Ciencia* 22: 89-93.
- DE JESÚS-NAVARRETE, A. 2007. Nematodos de los arrecifes de Isla Mujeres y Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42: 193-200.
- DE JESÚS-NAVARRETE, A., M. DOMÍNGUEZ-VIVEROS; A. MEDINA-QUEJ & J. J. OLIVA-RIVERA. 2000. Crecimiento, mortalidad y reclutamiento del caracol *Strombus gigas* en Punta Gavilán, Q. Roó, México. *Ciencia Pesquera* 14: 1-4.
- DE JESÚS NAVARRETE, A. & V. VALENCIA-BELTRÁN. 2003. Abundance of *Strombus gigas* zero-year class juveniles at Banco Chinchorro Biosphere Reserve, Quintana Roo, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 73: 231-240.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 19-julio-1996. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Banco Chinchorro, ubicada frente a las costas del Municipio de Othón P. Blanco, Estado de Quintana Roo, con una superficie total de 144,360 hectáreas. 7 p.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 05-junio-2009. Decreto por el que se declara área natural protegida, con la categoría de reserva de la biosfera el área conocida como Tiburón Ballena, localizada frente a las costas del norte del Estado de Quintana Roo. Primera Sección, 5 p.
- ENDRESEN, Ø., H. L. BEHRENS, S. BRYNESTAD, A. B. ANDERSEN & R. SKJONG. 2004. Challenges in global ballast water management. *Marine Pollution Bulletin* 48: 615-623.
- ENRÍQUEZ, D. 2005. El florecimiento de las zonas Marinas Especialmente Sensibles. ¿Hacia una nueva "Batalla Libresca" en pleno siglo XXI? *Anuario Mexicano de Derecho Internacional* 5: 543-575.
- ESCOBAR-BRIONES, E. & M. L. MACHAIN. 2005. Mexico. In: Miloslavich, P. & E. Klein (Eds). *Caribbean Marine Biodiversity: the known and unknown*. Destech Publications, U.S.A, pp. 181-212.
- EZER, T., D. V. THATTAI, B. KJERFVE & W. D. HEYMAN. 2005. On the variability of the flow along the Meso-American Barrier Reef system: a numerical model study of the influence of the Caribbean current and eddies. *Ocean Dynamics* 55: 458-475.
- FENNER, D. 1999. New observations on the stony coral (Scleractinia, Milleporidae and Stylasteridae) species of Belize (Central America) and Cozumel (Mexico). *Bulletin of Marine Science* 64: 143-154.
- FONSECA-LARIOS, M. E. & P. BRIONES-FOURZÁN. 1998. Fecundity of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804) in the Caribbean coast of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 63: 21-32.
- FRAZIER, S. 1999. *Visión General de los Sitios Ramsar. Una Sinopsis de los Humedales de Importancia Internacional en el Mundo*. Wetlands International. 42 p.
- GADEA, G. R. 2004. Los buques tanque y su clasificación. *Petrotecnia* Abril: 10-16.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, V., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ, T. HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ & J. N. ÁLVAREZ-CADENA. 2009. Fish larvae and juveniles checklist (Pisces) from the northern Yucatán Peninsula, Mexico, with 39 new records for the region. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 85-94.
- GARCÍA-SALGADO, M. & G. NAVA-MARTÍNEZ. 2006. *Guía de Procedimientos en Eventos de Impacto en Arrecifes Coralinos. Manual de Referencia*. Oceanus, A.C., Parque Nacional Sistema Arrecifal Mesoamericano, CONANP. Veracruz. 28 p.
- GARCÍA-SALGADO, M., G. NAVA-MARTÍNEZ, N. BOOD, M. MCFIELD, A. MOLINA-RAMÍREZ, B. YAÑEZ-RIVERA, N. JACOBS, B. SHANK, M. VÁSQUEZ, I. MAJIL, A. CUBAS, J. J. DOMÍNGUEZ-CALDERÓN & A. ARRIVILLAGA. 2008. Status of coral reefs in the Mesoamerican Region. In: Wilkinson, C. (Ed.). *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia. pp. 253-264.
- GASCA, R. 2002. Lista faunística y bibliografía comentadas de los sifonóforos (Cnidaria: Hidrozoa) de México. UNAM México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 73: 123-143.
- GIFFORD, A., L. J. COMPAGNO, M. LEVINE & A. ANTONIOU. 2007. Satellite tracking of whale sharks using tethered tags. *Fisheries Research* 84: 17-24.
- HERZ, M. & J. DAVIS. 2002. *Cruise Control. A Report On How Cruise Ships Affect the Marine Environment*. The Ocean Conservancy. Washington, DC. 64 p.

- JOHNSON, L. 2004. *Coastal State Regulation of International Shipping*. Oceana Publications, Inc. Dobbs Ferry, N.Y. 214 p.
- JORDÁN-DAHLGREN, E. 2002. Gorgonian distribution patterns in coral reef environments of the Gulf of Mexico: evidence of sporadic ecological connectivity? *Coral Reefs* 21: 205-215.
- JORDÁN-DAHLGREN, E. & R. RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ. 2003. The Atlantic Coral Reefs Ecosystems of Mexico. In: J. Cortéz (Ed.) *Latin America Coral Reefs*. Elsevier Science B.V., pp. 131-158.
- JUÁREZ-DE LA ROSA, B. A., P.-L. ARDISSON, J. A. AZAMAR-BARRIOS, P. QUINTANA & J. J. ALVARADO-GIL. 2007. Optical, thermal, and structural characterization of the sclerotized skeleton of two antipatharian coral species. *Materials Science and Engineering C* 27: 880-885.
- KRAMER, P. A. & P. R. KRAMER. 2002. *Ecoregional Conservation Planning for the Mesoamerican Caribbean Reef*. World Wildlife Fund, Washington, D.C. 140 p.
- LAGUARDA-FIGUERAS, A., F. A. SOLIS-MARIN, A. DURÁN-GONZÁLEZ, C. G. AHEARN, B. E. BUITRÓN-SÁNCHEZ & J. TORRES-VEGA. 2005. Echinoderms (Echinodermata) of the Mexican Caribbean. *Revista de Biología Tropical* 53: 109-22.
- LEWIS, J. B. 1981. Estimates of secondary production of coral reef. In: E. D. Gómez, C. E. Birkeland, R. W. Buddemeier, R. E. Johannes, J. A. Marsh & R. T. Tsuda (Eds.). *Proceeding of the Fourth International Coral Reef Symposium*. Vol 2. Manila Philippines, pp. 369-374.
- LUGO, A. E., C. S. ROGERS & S. W. NIXON. 2000. Hurricanes, coral reefs and rainforests: resistance, ruin and recovery in the Caribbean. *Ambio* 29: 106-114.
- LUNA-ERREGUERENA, P. 2002. Mexico: A Country with a Rich Underwater Legacy. In: Ruppè, C. & J. Barstad (Eds.). *International Handbook of Underwater Archaeology*. The Springer Series in Underwater Archaeology. New York, pp. 269-278.
- MAAS-VARGAS, M. G. 2004. Inventario de las esponjas marinas (Porifera: Demospongiae) de la colección de referencia de bentos costeros de ECOSUR. *Universidad y Ciencia* 20: 23-28.
- MACHAÍN, M. L. & R. GÍO-ARGÁEZ. 1993. La diversidad de ostrácodos de los mares mexicanos. In: Gíó-Argáez R. & E. López-Ochoterena (Eds.). *Diversidad Biológica en México*. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 44: 251-266.
- MACKINNON, H. B. & J. ACOSTA-ABURTO. 2003. Critical habitat for migratory land birds, Banco Chinchorro, Quintana Roo, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 73: 171-186.
- MANZANILLA-DOMÍNGUEZ, H. & R. GASCA. 2004. Distribution and abundance of phyllosoma larvae (Decapoda, Palinuridae) in the Southern Gulf of Mexico and the Western Caribbean Sea. *Crustaceana* 77: 75-93.
- MARKHAM, J. C., F. E. DONATH, J. L. VILLALOBOS & A. C. DÍAZ. 1990. Notes on the shallow-water marine crustacea of the Caribbean coast of Quintana Roo, Mexico. *UNAM México. Anales del Instituto de Biología, Serie Zoológica* 61: 405-446.
- MCCARTHY, P. M. 2008. *Cruise Line Wastewater Discharge in the Caribbean Region*. Masters project submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment and Earth Sciences of Duke University, Durham, North Carolina. 63 p.
- MERINO, M. 1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *UNAM, Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 13 (2): 31-46.
- MERINO, M. 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems* 13: 101-121.
- MORALES-VELA, B., L. D. OLIVERA-GÓMEZ, J. E. REYNOLDS & G. B. RATHBUN. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Bahía de Chetumal, Mexico. *Biological Conservation* 95: 67-75.
- MUMBY, P. J. 2006. Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological Conservation* 128: 215-222.
- MURRAY, G. 2007. Constructing paradise: the impacts of big tourism in the Mexican coastal zone. *Coastal Management* 35: 339-355.
- NAGELKERKEN, I., M. DORENBOSH, W. C. E. P. VERBERK, E. COCHERET DE LA MORINIÈRE & G. VAN DER VELDE. 2000. Importance of shallow-water biotopes of a Caribbean bay for juvenile coral reef fishes: patterns in biotope association, community structure and spatial distribution. *Marine Ecology Progress Series* 202: 175-192.
- OCEANUS. 2007. *Caracterización de las comunidades arrecifales de Yum Balam*. Quintana Roo. OCEANUS, A.C. 24 p.
- OCTA. 2006. *Temporal and Geographic Distribution of Global Cruise Line Discharge. A Report by Conservation International's Center for Applied Biodiversity Science*. Recommendations to the International Council of Cruise Lines (ICCL). Ocean Conservation and Tourism Alliance Science Panel. 25 p.
- OLIVA-RIVERA, J. J. & A. DE JESÚS NAVARRETE. 2007. Larvas de moluscos gasterópodos del sur de Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 17: 151-158.
- Olivera-Gómez, L. D. & E. Mellink. 2005. Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) as a function of habitat characteristics, in Bahía de Chetumal, Mexico. *Biological Conservation* 121: 127-133.
- OMI. 2005. *Resolución A.982(24). Directrices Revisadas Para la Determinación y Designación de Zonas Marinas Especialmente Sensibles*. *Organización Marítima Internacional*. Adoptada el 1 de diciembre de 2005. 14 p. Disponible en línea en: <http://www.armada.mil.uy/pre-na/delea/pdf/resolucionesasamblea/982.pdf> (consultado el 10 de octubre de 2011).
- PADILLA, C. & M. LARA. 2003. Banco Chinchorro: the last shelter for black coral in the Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 73: 197-202.

- ROBERTS, C. M. 1997. Connectivity and management of Caribbean coral reefs. *Science* 278: 1454-1457.
- ROBERTS, J., TSAMENYI, M., WORKMAN, T. & L. JOHNSON. 2005. The Western European PSSA proposal: a "politically sensitive sea area". *Marine Policy* 29: 431-440.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. & L. M. ORTIZ. 1999. Coral reef education in schools of Quintana Roo, Mexico. *Ocean and Coastal Management* 42: 1061-1068.
- RODRÍGUEZ-ZARAGOZA, F. A. & J. E. ARIAS-GONZÁLEZ. 2008. Additive diversity partitioning of reef fishes across multiple spatial scales. *Caribbean Journal of Science* 44: 90-101.
- SALAZAR-VALLEJO, S. I. & M. S. JIMÉNEZ-CUETO. 1997. Neréididos (Polychaeta) del Caribe mexicano con una clave para las especies del Gran Caribe. *Revista de Biología Tropical* 44/45: 361-377.
- SAM. 2003. *Principios de Manejo Para las Áreas Marinas Protegidas*. Proyecto para la conservación y uso sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Manual. Documento Técnico del SAM No. 2. Ciudad Belice, Belice. 43 p.
- SAM. 2004. *Proyecto para la Conservación y Uso Sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) Belice-Guatemala-Honduras-México*. Documento Técnico del SAM No. 14. 29 p.
- SÁNCHEZ-GIL, P., A. YAÑEZ ARANCIBIA, J. RAMÍREZ-GORDILLO, J. W. DAY & P. H. TEMPLET. 2004. Some socio-economic indicators in the Mexican states of the Gulf of Mexico. *Ocean & Coastal Management* 47: 581-596.
- SCHMITTER-SOTO, J. J., L. VÁSQUEZ-YEOMANS, A. AGUILAR-PERERA, C. CURIEL-MONDRAGÓN & J. A. CABALLERO-VÁZQUEZ. 2000. Lista de peces marinos del Caribe mexicano. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 71: 143-177.
- SEGURA-PUERTAS, L., E. SUÁREZ-MORALES & L. CELIS. 2003. A checklist of the Medusae (Hydrozoa, Scyphozoa and Cubozoa) of Mexico. *Zootaxa* 194: 1-15.
- SEMAR. 2002. *Atlas de Áreas Sensibles a la Presencia de Hidrocarburos en las Costas del Golfo de México y Mar Caribe Mexicanos*. Secretaría de Marina-Armada de México, México. 100 p.
- SEMARNAT. 2007. *Plan de Manejo Tipo para Realizar Aprovechamiento No Extractivo de Tiburón Ballena (Rhincodon typus) en México*. Semarnat, Dirección General de Vida Silvestre, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 50 p.
- SHEINBAUM, J., J. CANDELA, A. BADAN & J. OCHOA. 2002. Flow structure and transport in the Yucatán Channel. *Geophysical Research Letters* 29: 1040.
- SHORT, F., T. CARRUTHERS, W. DENNISON & M. WAYCOTT. 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350: 3-20.
- SOTO, I., S. ANDRÉFOUËT, C. HU, F. E. MULLER-KARGER, C. C. WALL, J. SHENG & B. G. HATCHER. 2009. Physical connectivity in the Mesoamerican Barrier Reef System inferred from 9 years of ocean color observations. *Coral Reefs* 28: 415-425.
- SUÁREZ-MORALES, E. & R. GASCA. 1998. Updated checklist of the free-living marine Copepoda (Crustacea) of Mexico. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 69: 105-119.
- SUÁREZ-MORALES, E. & T. CAMARENA-LUHRS. 2003. Introduction. *Bulletin of Marine Science* 73: 1-3.
- SUÁREZ-MORALES, E., R. W. HEARD, M. S. GARCÍA-MADRIGAL, J. J. OLIVA & E. ESCOBAR. 2004. *Catálogo de los Tanaidáceos (Crustacea: Peracarida) del Caribe Mexicano*. CONACYT/SEMARNAT/ECOSUR. México. 121 p.
- SUÁREZ-MORALES, E., S. JIMÉNEZ-CUETO & S. I. SALAZAR-VALLEJO. 2005. *Catálogo de los Poliquetos Pelágicos (Polychaeta) del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano*. SEMARNAT, ECOSUR, SEP-CONACYT. México. 99 p.
- TORRES, A., C. ESQUIVEL & G. CEBALLOS. 1995. Diversidad y conservación de los mamíferos marinos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 1: 22-43.
- TROCCOLI, L., J. HERRERA-SILVEIRA & F. A. COMÍN. 2004. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico. *Hydrobiologia* 519: 85-102.
- UCP. 2004. Unidad Coordinadora del Proyecto SAM. *Acuerdos de aplicación común para la zona geográfica del Sistema Arrecifal Mesoamericano*. SAM- Comisión de Cooperación Ambiental y Desarrollo (CCAD). 8 p.
- VEGA-ZEPEDA, A., H. HERNÁNDEZ-ARANA & J. P. CARRICART-GANIVET. 2007. Spatial and size-frequency distribution of *Acropora* (Cnidaria: Scleractinia) species in Chinchorro Bank, Mexican Caribbean: implications for management. *Coral Reefs* 26: 671-676.
- VERINI, N. 2004. Mercados internacionales y transporte marítimo. *Petrotecnia* Abril: 56-54.
- VOLLMER, S. V. & S. R. PALUMBI. 2006. Restricted gene flow in the Caribbean staghorn coral *Acropora cervicornis*: implications for the recovery of endangered reefs. *Journal of Heredity* 98: 40-50.
- WINFIELD, I. & E. ESCOBAR-BRIONES. 2007. Anfipodos (Crustacea: Gammaridea) del sector norte del Mar Caribe: listado faunístico, registros nuevos y distribución espacial. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 51-61.
- ZURITA, J. C., R. HERRERA & B. PREZAS. 1993. Tortugas marinas del Caribe. In: S. I. Salazar-Vallejo & N. E. González (Eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Comisión Nacional de la Biodiversidad y CIQRO, Chetumal, México, pp. 735-75.

Recibido: 27 de mayo de 2011.

Aceptado: 10 de octubre de 2011.