

Golfo de México

Contaminación e Impacto Ambiental:



Diagnóstico y Tendencias

2da Edición

A. V. Botello, J. Rendón von Osten

G. Gold-Bouchot y C. Agráz-Hernández

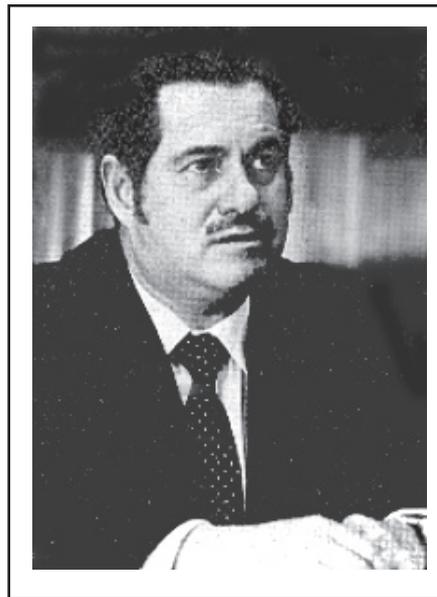
Editores



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, SEMARNAT
GOBIERNO MUNICIPAL COATZACOALCOS, VERACRUZ



En Memoria



Dr. Agustín Ayala Castañares
1925 - 2005

**GOLFO DE MÉXICO, CONTAMINACIÓN
E IMPACTO AMBIENTAL:
DIAGNÓSTICO Y TENDENCIAS**

Segunda Edición

**Alfonso V. Botello, Jaime Rendón von Osten,
Gerardo Gold-Bouchot y Claudia Agraz-Hernández**
Editores

2005

**GOLFO DE MÉXICO, CONTAMINACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL:
DIAGNÓSTICO Y TENDENCIAS**

Botello, A.V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, 2005. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

© Universidad Autónoma de Campeche, 2005
Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México

© Universidad Nacional Autónoma de México, 2005
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

© Instituto Nacional de Ecología, 2005

ISBN 968-5722-37-4

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche
Av. Agustín Melgar s/n. Col. Lindavista
Campeche 24020. Campeche, México
Tel: (981) 811-1600
Fax: (981) 811-9800 ext 62399
www.uacam.mx/epomex/epomex.html

Contenido

PRESENTACIÓN DE LA 2DA EDICIÓN	VII
PROLOGO	IX
DIRECTORIO DE PARTICIPANTES	XI
MARCO CONCEPTUAL	
1. Condición Actual del Ambiente Marino-Costero de la Región del Gran Caribe	1
<i>Jesús Beltrán, Antonio Villasol, Alfonso V. Botello, Félix Palacios</i>	
2. Marco Conceptual: Caracterización Ambiental del Golfo de México	25
<i>Alejandro Toledo Ocampo</i>	
ECOFISIOLOGÍA Y ECOTOXICOLOGÍA	
3. Ecofisiología y Contaminación	53
<i>Sonia Espina y Cecilia Vanegas</i>	
4. Ecotoxicología y Contaminación	79
<i>Sonia Espina y Cecilia Vanegas</i>	
5. Uso de Biomarcadores en Ecosistemas Acuáticos	121
<i>Jaime Rendón von Osten</i>	

6. Efectos de Compuestos Genotóxicos de Tres Sistemas Costeros de Veracruz	141
<i>A. Sobrino-Figueroa, Alfonso V.-Botello y Susana Villanueva-Fragoso</i>	
PLAGUICIDAS	
7. Impacto Ambiental de los Plaguicidas en los Ecosistemas Costeros	157
<i>Lilia A. Albert y Jorge A. Benítez</i>	
8. Química y Ecotoxicología de los Insecticidas	177
<i>Lilia A. Albert y Rogelio Loera Gallardo</i>	
9. Química y Ecotoxicología de los Fungicidas	191
<i>Cristina Barcenas</i>	
10. Química y Ecotoxicología de los Herbicidas	199
<i>Alma Delia Viveros Ruiz</i>	
11. Plaguicidas Organoclorados en Vegetación Acuática y Peces de los Sistemas Candelaria-Panlau, Laguna de Términos Campeche	207
<i>Gilberto Díaz, Alfonso V. Botello y Guadalupe Ponce-Velez</i>	
12. Ambient Air Levels of Organochlorine Pesticides in Air in Southern Mexico	225
<i>Henry Alegria, Fiona Wong, Terry Bidleman, Miguel Salvador Figueroa, Gerardo Gold Bouchot, Stefan Waliszewski, Victor Moreno Ceja, Raul Infanzon</i>	
13. DDT y Derivados en Huevos de la Tortuga de Carey <i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766), en las Costas del Estado de Campeche	237
<i>Magally M. Morales Rodríguez, Víctor M. Cobos-Gasca</i>	

14. Plaguicidas Orgánicos Persistentes (POPs)	
en Sedimentos de la Costa Sur del Golfo de México	249
<i>Jaime Rendón-von Osten, Martín Memije Canepa y Nery A. Ek Moo</i>	

HIDROCARBUROS

15. Características, Composición y Propiedades	
Fisicoquímicas del Petróleo	261
<i>Alfonso V. Botello</i>	
16. Niveles de Hidrocarburos en el Golfo de México	269
<i>Guadalupe Ponce Vélez y Alfonso V. Botello</i>	
17. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	299
en Sedimentos de la Bahía de Chetumal	
<i>Teresa Alvarez Legorreta y Ricardo Sáenz Morales</i>	
18. Hidrocarburos en Agua y Sedimentos	
de la Laguna de Chelem y Puerto Progreso, Yucatán, México	311
<i>Irma Sueli Valenzuela Sánchez, Gerardo Gold-Bouchot y Victor Ceja Moreno</i>	

METALES

19. Fuentes de Metales en la Zona Costera Marina	329
<i>Federico Páez Osuna</i>	
20. Efectos de los Metales	343
<i>Federico Páez-Osuna</i>	
21. Metales en Tres Lagunas Costeras	
del Estado de Veracruz	361
<i>Patricia Guzmán Amaya, Susana Villanueva F. y Alfonso V. Botello</i>	

22. Determinación de Metales (Fe, Mn, Pb, y Zn) en Macroalgas Clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano, México	373
<i>Yazmin Morlán-Cahue y Heriberto Opengo-Piña</i>	
23. Estudio Geoquímico de Metales en el Estuario del Río Coatzacoalcos	389
<i>Leticia Rosales Hoz y A. Carranza Edwards</i>	
24. Vigilancia y Presencia de Metales Tóxicos en la Laguna El Yucateco, Tabasco, México	407
<i>Susana Villanueva F. y Alfonso V. Botello</i>	
25. Distribución de metales pesados en los suelos de la Llanura Aluvial Baja del Activo Cinco Presidentes	431
<i>Christina Siebe, Silke Cram, Andrea Herre y Norma Fernández-Buces</i>	
26. Concentration of Essential and Non-Essential Metals in Two Shark Species Commonly Caught in Mexican (Gulf of Mexico) Coastline	451
<i>Gabriel Núñez-Nogueira</i>	
MICROBIOLOGÍA	
27. Contaminación por Microorganismos en Zonas Costeras	475
<i>Guadalupe Barrera Escorcía e Irma Wong Chang</i>	
28. Estado Actual de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México	487
<i>Irma Wong Chang y Guadalupe Barrera Escorcía</i>	
29. Contaminación en la Zona Costero-Marina: Implicaciones Ecológicas	505
<i>Irma Wong Chang y Guadalupe Barrera Escorcía</i>	

30. Diagnóstico de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México	515
<i>Guadalupe Barrera Escorcia y Irma Wong Chang</i>	
31. Efecto del Almacenamiento en la Calidad Sanitaria del Ostión <i>Crassostrea virginica</i> (GMELIN) de la Laguna de Tamiahua, Veracruz	525
<i>Xochitl Guzmán-García, G. Barrera Escorcia e Irma Wong-Chang</i>	
IMPACTO AMBIENTAL	
32. Precipitación Ácida en la Costa del Golfo de México	535
<i>Humberto Bravo Alvarez, Rodolfo Sosa Echeverria, Pablo Sánchez Alvarez, Rogelio Soto Ayala, y Ana Luisa Alarcón Jiménez</i>	
33. Enfoque Multivariado No Paramétrico para Determinar la Influencia de la Variabilidad Natural y las Actividades Petroleras sobre el Macrobentos del Banco de Campeche	553
<i>Héctor A. Hernández Arana</i>	
34. Calidad de Agua e Indicadores Fitoplanctónicos en Tres Ambientes Acuáticos Costeros al Noroeste del Golfo de México	565
<i>Guadalupe de la Lanza Espino y Juan Carlos Gómez Rojas</i>	
35. Evaluación del Impacto Ambiental de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde a 15 Años de Operación	575
<i>Jaime A. Silva Jiménez y Alfonso V. Botello</i>	
36. Diagnóstico del Impacto y Lineamientos Básicos para los Programas de Mitigación y Manejo de Humedales	597
<i>Claudia. M. Agraz-Hernández y Francisco J. Flores-Verdugo</i>	

- 37. La Evaluación del Impacto Ambiental en Proyectos de tipo Lineal. Experiencias y Aportaciones de la Comisión Federal de Electricidad en el Estado de Campeche** **609**
Fidencio A. León Burgos y Víctor Parra Tabla
- 38. Normatividad en Zonas Costeras** **629**
Teresa E. Saavedra Vázquez
- 39. Evaluación Instantánea de los Efectos del Derrame de Petróleo en el Área de Nanchital – Coatzacoalcos, Veracruz (22 de Diciembre de 2004)** **665**
Lilia A. Albert, Lorenzo Bozada-Robles, Jorge Uribe-Juárez, Jorge López-Portillo, Ricardo Méndez-Alonzo, Karlo Antonio Soto, Octavio de los Reyes-Trejo, y Claudio J. Torres-Nachón
- 40. El Derrame de Petróleo del 22 de Diciembre de 2004 en la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos: Estudio de Caso** **681**
L.M. Bozada Robles y P.E. Namihira-Santillán

Presentación a la 2da Edición

Hace 10 años, la Primera Edición de este Libro salió a la disposición de la comunidad científica, tecnológica y política del país. Su contenido temático de gran valor y actualidad hizo que el tiraje de mismo fuera totalmente agotado y que se demandará realizar una Segunda Edición muy actualizada de los temas de interés en cuanto a Contaminación e Impactos Ambientales del Golfo de México y sus áreas adyacentes.

En esta obra al igual que en la anterior, se reúne de forma sistemática una gran cantidad de información especializada no solamente del Golfo de México, si no que se han introducido trabajos de la Península de Yucatán, el Caribe Mexicano y el Gran Caribe al considerar la relevancia de la zona de estudio en términos de geopolítica y de equilibrio ecológico, cuya importancia social, económica y política está fuera de toda duda.

Las nuevas y más intensas presiones ecológicas a que será sometido el Golfo de México, así como las anunciadas exploraciones y perforaciones de petróleo costa afuera en Veracruz, Campeche y Yucatán, el aumento de la producción de petróleo y del tráfico de buques para su movilización, obligan a que los estados costeros mexicanos del Golfo de México, cuenten con eficientes sistemas de alertamiento y planes de contingencia ambiental para prevenir accidentes y desarrollen infraestructura humana y tecnológica que diagnostique correctamente los impactos y efectos de los posibles derrames petroleros.

La incesante actividad industrial, el intenso incremento de los desarrollos portuario-industriales, los polos turísticos y los asentamientos humanos en las zonas costeras de la región, aunados a los efectos del cambio climático global; serán un gran factor de presión ecológica para ecosistemas críticos como manglares, corales, pastos marinos, islas, estuarios y lagunas costeras; de cuya correcta función dependen una alta productividad y la sobrevivencia de muchas especies comerciales de fauna marina y estuarina en los litorales del Golfo de México. Su alteración o su destrucción, solamente conducirá a la cancelación de múltiples usos de la zona costera y originará problemas ecológicos, sociales y económicos para los habitantes de estas importantes áreas.

A pesar de que el estado de Campeche cuenta con un importante apoyo a nivel institucional a la protección de sus recursos naturales y sus áreas protegidas, es imperativo que dedique una mayor atención a sus litorales en donde se ubican sus principales asentamientos humanos y se desarrolla la actividad primordial del estado como es la pesca.

Por lo tanto, y conscientes de la problemática regional del Golfo y del papel fundamental de la Universidad ante la sociedad, el Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía de Golfo de México (EPOMEX) de la Universidad Autónoma de Campeche, ha decidido apoyar la realización de esta obra, la cual incluye la aportación de 62 autores nacionales y extranjeros y de cuya información el lector tendrá una semblanza de los problemas ambientales de la región del Golfo de México en los últimos 10 años.

C.P. Enna Alicia Sandoval Castellanos, M.C
Rectora, Universidad Autónoma de Campeche

Prologo

Al inicio de este nuevo milenio, la humanidad afronta uno de sus mayores retos ambientales como lo señala la Comisión de la Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable (2005), que es la conservación del recurso de recursos : el agua.

En foros mundiales recientes se ha hecho pública la importancia de este vital recurso y su necesidad de conservarlo como eje motor de un desarrollo sano y sustentable en todos los países del planeta.

En el 2006, México será el país anfitrión del Sexto Foro Mundial de Agua y en el sin duda, serán tratados temas sobre su protección, su preservación, y su calidad para usos humanos, pesqueros, turísticos, agrícolas e industriales.

Sin embargo, es indudable que la creciente contaminación de los recursos acuáticos como lagos, cuencas, reservorios, ríos y lagunas y aguas costeras es una realidad para la gran mayoría de los países en vías de desarrollo, lo que cancela el uso total y aprovechamiento de estos recursos en detrimento de sus economías y de la salud pública de sus pobladores.

De may que no únicamente se debe prestar atención a su protección, administración y manejo, sino que hay que desarrollar una verdadera capacidad institucional para diagnosticar las fuentes, orígenes y tipos de contaminación y los efectos de esta sobre los recursos acuáticos y la salud pública.

Desde 1990, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) a través de la Subcomisión para el Caribe (IOCARIBE) han identificado que el principal problema en la región del Gran Caribe (a la que pertenece México) es la contaminación de sus recursos acuáticos y marino –costeros. Por ello, consideran que la aportación de información científica actualizada para evaluar con precisión los problemas ambientales mencionados , es una acción prioritaria para todo país en al región.

Así, la Segunda Edición del libro “Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias” que integra información científica generada en la última década sobre la contaminación en los principales ecosistemas del Golfo de México, representa nuevamente la contribución integral más importante y actualizada en este tema.

La información que se expone está basada en resultados de estudios especializados, acerca de los principales contaminantes y los cambios ambientales negativos. Sin duda, estos datos son necesarios para normar la utilización de los ambientes acuáticos y marino-costeros del Golfo de México; proteger sus recursos y propiciar la posibilidad de un desarrollo sustentable de cara al nuevo milenio.

Es también, una importante contribución del Gobierno de Campeche y de la Universidad Autónoma de Campeche a través del Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México(EPOMEX) y reflejo de su intensa política ambiental para preservar los recursos naturales de este ecosistema que comparten tres naciones y que desde el punto de vista ecológico, económico-social y político son vitales.

Para México, lograr el desarrollo sustentable en el Golfo es uno de los mayores retos, pues implica conservar la riqueza de su biodiversidad y ecosistemas, atenuando los conflictos derivados de que en la región se asienten importantes complejos portuario-pesqueros, industriales y comerciales, una agricultura extensiva y que en ella se genere casi el 90% de la producción de hidrocarburos, 95 % del gas natural y sea el área de captura del 40% de las pesquerías demersales.

Este reto necesariamente tendrá que enfrentarse tomando en cuenta diagnósticos ambientales integrales como el que este libro contiene y las tendencias que quedan señalizadas para este nuevo milenio.

Directorio de Participantes

Claudia M. Agraz-Hernández

Centro EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Apdo Postal 520
Campeche 24000, Campeche, México

Ana Luisa Alarcón Jiménez

Departamento de Ciencias Ambientales
Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria
Del. Coyoacán, 04510 México D.F

Lilia A. Albert

Centro de Ecología y Desarrollo, A.C
y/o Sociedad Mexicana de Toxicología
Apdo. Postal 474
Xalapa 91000, Veracruz, México

Henry Alegria

California Lutheran University
60 West Olsen Road
Thousand Oaks, CA 91360, USA

Teresa Alvarez Legorreta

El Colegio de la Frontera Sur,
Unidad Chetumal
Av. Centenario Km. 5.5, Apdo. Postal 424
Chetumal 77900, Quintana Roo, México

Karlo Antonio Soto

Museo de Fuauna de Veracruz
Parque Ecológico Macuiltepec
Xalapa, Veracruz, México

Cristina Barcenás

Instituto de Ecología, A.C.
Km. 2.5 Antigua carretera a Coatepec
Apdo. Postal 63
Xalapa 91000, Veracruz, México

Guadalupe Barrera Escoria

Lab. Ecotoxicología, Departamento de
Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-
Izatzapalapa

Apdo. Postal 55-535
México D.F. 09340, México

Jesús Beltrán

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías
y Costas, Cuba
Carretera del Asilo s/n, Fca. Tiscornia, Casablanca,
Regla A.P. 11700,
Ciudad de La Habana, Cuba

Jorge A. Benítez

Centro EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Apdo Postal 520
Campeche 24000, Campeche, México

Terry Bidleman

Centre for Atmospheric Research Experiments
RR#1, 6248 Eighth Line, Egbert, Ontario, Canada
LOL 1N0

Humberto Bravo Alvarez

Departamento de Ciencias Ambientales
Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria
Del. Coyoacán, 04510 México D.F

Alfonso V. Botello

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

L.M. Bozada Robles

Universidad Istmo Americana, A.C
Román Marín 1107
Col Manuel Avila Camacho
Coatzacoalcos, Veracruz, México

A. Carranza Edwards

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM

Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Victor Ceja Moreno

CINVESTAV-Unidad Mérida
Km. 6 Antigua carretera a Progreso
Apdo. Postal 73,
Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

Víctor M. Cobos-Gasca

Cuerpo Académico de Ecología Tropical. Facultad
de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UADY.
Carretera Mérida-Xmatkuil, km. 15.5 A.P. 4-116,
C.P. 97100. Mérida, Yucatán, México

Silke Cram

Instituto de Geografía, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Apdo. Postal 20-850. 01000
México D.F. México

Guadalupe de la Lanza Espino

Departamento de Zoología,
Instituto de Biología. UNAM
Tercer Circuito Cultural
Ciudad Universitaria
Apdo. Postal 70-153, C.P. 04510, México

Octavio de los Reyes Trejo

Pronatura Veracruz
Diego Rivera No. 49 Fraccionamiento Coapexpan
C.P. 91070 Xalapa, Veracruz

Gilberto Díaz

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Nery A. Ek Moo

Centro EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Apdo Postal 520
Campeche 24000, Campeche, México

Sonia Espina

Laboratorio de Ecofisiología,
Facultad de Ciencias, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Mexico D.F. 04510, Mexico

Norma Fernández-Buces

Instituto de Geología, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Mexico D.F. 04510, Mexico

Francisco J. Flores-Verdugo

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Estación
Mazatlán, Sinaloa. UNAM
Av. Joel Montes Camarena S/N
Apartado Postal 811 C.P. 82040, Mazatlán, Sinaloa,
México

Gerardo Gold Bouchot

CINVESTAV-Unidad Mérida
Km. 6 Antigua carretera a Progreso
Apdo. Postal 73,
Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

Juan Carlos Gómez Rojas

Departamento de Zoología,
Instituto de Biología. UNAM
Tercer Circuito Cultural
Ciudad Universitaria
Apdo. Postal 70-153, C.P. 04510, México

Patricia Guzmán Amaya

Instituto Nacional de la Pesca
Pitagoras 1320
Col. Santa Cruz Atoyac 03310
México, D.F.

Xochitl Guzmán-García

Departamento de Hidrobiología, Universidad
Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Apdo. Postal 55-535
México D.F. 09340, México

Héctor A. Hernández Arana

El Colegio de la Frontera Sur,
Unidad Chetumal
Av. Centenario Km. 5.5, Apdo. Postal 424
Chetumal 77900, Quintana Roo, México

Andrea Herre

Instituto de Geología, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Mexico D.F. 04510, Mexico

Raul Infanzon

Institute of Forensic Medicine
University of Veracruz
SS. Juan Pablo II s/n
Boca del Rio, Veracruz, Mexico

Fidencio A. León Burgos

Comisión Federal de Electricidad
Residencia de Construcción de Proyectos de
Transmisión y Transformación Peninsular.
Departamento de Protección Ambiental
Carretera Mérida-Uman Km 10 por anillo
periférico. Col Industrial
Mérida 97288 Yucatán, México

Rogelio Loera Gallardo

Consultores Ambientales Asociados A.C.
Apdo Postal 474
Xalapa 91000, Veracruz, México

Jorge López-Portillo

Instituto de Ecología, A.C.
Km. 2.5 Antigua carretera a Coatepec
Apdo. Postal 63
Xalapa 91000, Veracruz, México

Martín Memije Canepa

Centro EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Apdo Postal 520
Campeche 24000, Campeche, México

Ricardo Méndez-Alonzo

Instituto de Ecología, A.C.
Km. 2.5 Antigua carretera a Coatepec
Apdo. Postal 63
Xalapa 91000, Veracruz, México

Magally M. Morales Rodríguez

Cuerpo Académico de Ecología Tropical. Facultad
de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UADY.
Carretera Mérida-Xmatkuil, km. 15.5 A.P. 4-116,
C.P. 97100. Mérida, Yucatán, México

Yazmin Morlán-Cahue

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM
Av. de los Barrios # 1
Col. Los Reyes Iztacala
Tlalnepantla 54090, Estado de México
México

P.E. Namihira-Santillán

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Gabriel Núñez-Nogueira

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Heriberto Opengo-Piña

Facultad de Estudios Superiores
Iztacala, UNAM
Av. de los Barrios # 1 Col. Los Reyes Iztacala
Tlalnepantla 54090, Estado de México
México

Federico Páez Osuna

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Félix Palacios

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental
de Bahías y Costas, Cuba
Carretera del Asilo s/n, Fca. Tiscornia, Casablanca,
Regla A.P. 11700,
Ciudad de La Habana, Cuba

Víctor Parra Tabla

Departamento de Ecología,
Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
Universidad
Autónoma de Yucatán
Carretera a Xmatkuil Km. 15.5
Apdo. Postal 116
Mérida 97315, Yucatán. México

Guadalupe Ponce-Velez

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Jaime Rendón-von Osten

Centro EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Apdo Postal 520
Campeche 24000, Campeche, México

L. Rosales Hoz

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Teresa E. Saavedra Vázquez

Delegación Federal de la Secretaría de Medio
Ambiente y Recursos Naturales en el Estado de
Veracruz.
Av. Murillo Vidal 250, Col. Cuauhtémoc
Xalapa 91069, Veracruz, México

Ricardo Sáenz Morales

El Colegio de la Frontera Sur,
Unidad Chetumal

Av. Centenario Km. 5.5, Apdo. Postal 424
Chetumal 77900, Quintana Roo, México

Miguel Salvador Figueroa

Area de Biotecnología
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chiapas
Carretera a Puerto Madero, Km. 2
Tapachula, Chiapas, Mexico

Pablo Sánchez Alvarez

Departamento de Ciencias Ambientales
Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria
Del. Coyoacán, 04510 México D.F

Christina Siebe

Instituto de Geología, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Mexico D.F. 04510, Mexico

Jaime A. Silva Jiménez

Gerencia de Centrales Nucleoeléctricas, Ingeniería
Ambiental-CFE
Carretera Cardel Nautla km. 42.5,
Laguna Verde 91680, Veracruz. México

Alma Sobrino-Figueroa

Departamento de Hidrobiología, Universidad
Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Apdo. Postal 55-535
México D.F. 09340, México

Rodolfo Sosa Echeverría

Departamento de Ciencias Ambientales
Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria
Del. Coyoacán, 04510 México D.F

Rogelio Soto Ayala

División de Ciencias Básicas,
Facultad de Ingeniería, UNAM
Circuito Interior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán
04510, México D.F., México

Alejandro Toledo Ocampo

El Colegio de Michoacán A.C.
Martínez de Navarrete 505, Col. Las Fuentes,
Zamora 59699, Michoacán, México

Claudio J. Torres-Nachón

Municipio de Coatzacoalcos

Jorge Uribe-Juárez

Consejo Estatal de Protección al Ambiente
Río Tecolutla No. 20, 2do Piso
Col. Cuauhtemoc, C.P. 91060, Xalapa, Ver.

Irma Sueli Valenzuela Sánchez

CINVESTAV-Unidad Mérida
Km. 6 Antigua carretera a Progreso
Apdo. Postal 73,
Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

Cecilia Vanegas

Laboratorio de Ecofisiología,
Facultad de Ciencias, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Mexico D.F. 04510, Mexico

Susana Villanueva-Fragoso

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.

Antonio Villasol

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental
de Bahías y Costas, Cuba
Carretera del Asilo s/n, Fca. Tiscornia, Casablanca,
Regla A.P. 11700,
Ciudad de La Habana, Cuba

Alma Delia Viveros Ruiz

Investigaciones Biotecnológicas, A.C. (INBIOTEC)
Ave. Araucarias 7-A, col. Badillo
Xalapa 91190, Veracruz. México

Stefan Waliszewski

Institute of Forensic Medicine,
University of Veracruz
SS. Juan Pablo II s/n
Boca del Rio, Veracruz, Mexico

Fiona Wong

Meteorological Service of Canada
5760 Dufferin Street
Downsview, Ontario
Canada, M3H 5T4

Irma Wong Chang

Instituto de Ciencias del Mar
y Limnología, UNAM
Apartado postal 70-305
Circuito Exterior s/n,
Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Mexico D.F.



Beltrán, J., A. Villasol, A. V. Botello y F. Palacios, 2005. Condición actual del ambiente marino-costero de la región del Gran Caribe, p. 1-24. *In*: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Condición Actual del Ambiente Marino-Costero de la Región del Gran Caribe

1

¹Jesús Beltrán, ¹Antonio Villasol,
²Alfonso V. Botello, ¹Félix Palacios

¹Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, Cuba

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

RESUMEN

Dada la importancia y particularidad del Caribe, la Oficina Regional para América Latina y el Caribe del PNUMA, inició una evaluación ambiental integral sobre las áreas marinas y costeras de la Región del Gran Caribe con la participación del Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas de Cuba y la colaboración de varios expertos de la región. La evaluación integral se encuentra dentro del marco GEO (Global Environment Outlook), programa del PNUMA. En el trabajo se presenta una información actualizada sobre el estado y tendencias del medio ambiente marino y costero de la Región del Gran Caribe. Se identifican la deforestación, minería, pesca y agricultura como las actividades económicas que en mayor medida afectan la calidad ambiental de los ecosistemas marinos y costeros. La mayoría de las costas de la región sufren una combinación de contaminación y sobreexplotación de los recursos pesqueros, teniendo como resultado la disminución de la productividad, pérdida de la biodiversidad y últimamente una seria amenaza a la salud humana. Las principales fuentes de contaminación terrestres son las aguas residuales urbano-industriales no tratadas. La recolección y disposición incorrecta de los residuos sólidos urbanos e industriales por la carencia de tecnologías adecuadas y la falta de tratamiento de las aguas residuales en gran parte de la región, constituyen problemas habituales que se agudizan al sumarle el crecimiento poblacional. En la región muchos arrecifes coralinos, esteros y lagunas costeras han sido alterados o destruidos físicamente, ya sea por azolves, contaminación o modificación de los patrones hidrológicos, mermando así significativamente su potencial como hábitat. Todos estos impactos han provocado la pérdida de la biodiversidad, la disminución de la abundancia de especies importantes y la desestabilización de las comunidades naturales.

ABSTRACT

Due to the significance and particularity of the Caribbean, the Regional Office for Latin America and the Caribbean from UNEP, an integral environmental assessment on the marine and coastal areas of the Wider Caribbean Region with the participation of the Center of Engineering and Environmental Management of Bays and Costal (Cimab) of Cuba and the collaboration of several experts of the region was carried out. This assessment is in the framework GEO (Global Environment Outlook), as part of the UNEP. In this paper the most available and update information is presented regarding the state and the tendencies of the coastal and

marine environment of the Wider Caribbean Region. In this region it has been identified the deforestation, the mining, fishing and the agriculture, as the economic activities that affect the environmental quality of the marine and coastal ecosystems. Most of the coastal waters suffer a combination of pollution and over-fishing, it being result loss of its production, loss of biodiversity and recently real threats to human health. The main land-based sources of pollution are municipality and industrial non-treatment wastewater. The deficiency of services for the final disposal of the municipality and industrial solid wastes, due to the lack of technology and treatment of the sewage appropriate in most of the region, constitutes usual problem, which these become worse when adding the population growth. The reduction of the developing and reproduction areas of these organisms also has contributed to the decrease of this resource. In the region many coral reefs, tidelands and coastal lagoons have been altered or destroyed physically, either by natural whip, pollution or by hydrological patterns modification, which significantly decrease its potential as habitat. All these impacts have caused the biodiversity loss, the abundance decrease of important species and the destabilization of the natural communities.

INTRODUCCIÓN

El área considerada en este trabajo es la región denominada por el Programa Ambiental del Caribe (PAC) del PNUMA como la Región del Gran Caribe (PNUMA, 1994) cuyas aguas comunes ha sido dividida en "Zonas Económicas Exclusivas" (ZEE), que otorga la pesca y los derechos mineros del lecho marino a una nación particular (Fig. 1).

La Región del Gran Caribe (RGC) se extiende desde las Bahamas hasta la desembocadura del río Amazonas e incluye el Golfo de México, así como el Mar Caribe y grandes partes del Océano Atlántico. A su vez, para una mejor comprensión, la Región del Gran Caribe ha sido dividido por el PNUMA en subregiones geográficas (Tabla 1).

La RGC se caracteriza por su particular biodiversidad, fragilidad de sus ecosistemas y vulnerabilidad frente a las amenazas naturales. Los países caribeños dependen fuertemente de sus recursos marino-costeros y el desarrollo sostenible de estos recursos es un asunto decisivo para el desarrollo económico a largo plazo de la región. El estado actual del ambiente en la RGC, puede ser descrito examinando las principales amenazas a su ecosistema. No existe una base de datos actualizada de estudios ambientales, por lo que la evidencia de su degradación se presenta a menudo de manera individual por algunos países o subregiones. Así, los problemas de una nación o territorio, son también los problemas de la región debido a los problemas transfronterizos existentes en las aguas comunes de la región. El estado del ambiente en la región es preocupante porque

es impactado con frecuencia por los efectos sinérgicos de múltiples amenazas. Las aguas comunes soportan una combinación de contaminación y sobrepesca que trae como resultado una disminución de la producción, pérdidas de especies y ecosistemas, así como amenazas reales a la salud humana (Sullivan y Bustamante, 1999).

Como sucede en otras regiones del mundo, las principales fuentes terrestres de contaminación en el Caribe varían de país en país en dependencia de la naturaleza e intensidad de las actividades de desarrollo. Para mitigar y controlar las amenazas de la contaminación originada por las fuentes terrestres sobre los recursos costeros, es fundamental identificar el tipo y los niveles de contaminantes. Este proceso comprende la identificación de las fuentes de emisión, localización y volumen de las descargas y la concentración de los contaminantes potenciales. Sin embargo, las fuentes puntuales representan sólo una fracción de las fuentes terrestres de contaminación que afectan el medio marino-costero de la región (PNUMA, 1994; UNEP, 1998). La magnitud de las amenazas es producto de las presiones ejercidas por el crecimiento poblacional y el uso inadecuado o incorrecto de tecnologías; por ejemplo, mientras los esfuerzos de la pesca moderna pudieran no ser similares a los ejercidos en el pasado, la amenaza a los bancos de peces vulnerables es mayor con implicaciones regionales por la pérdida de reproducción y reclutamiento. Estas amenazas pueden ocurrir a todas las escalas desde el impacto ocasionado por un grupo pequeño de pescadores en una

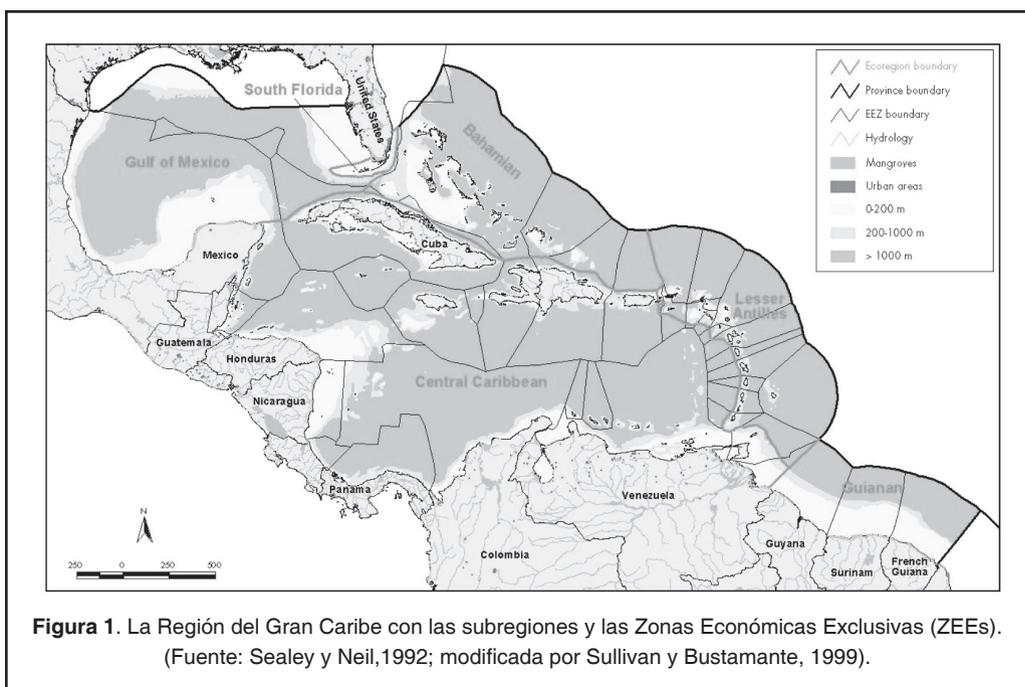


Figura 1. La Región del Gran Caribe con las subregiones y las Zonas Económicas Exclusivas (ZEEs).
(Fuente: Sealey y Neil, 1992; modificada por Sullivan y Bustamante, 1999).

Tabla 1. Áreas subregionales dentro de la Región del Gran Caribe y países que las componen.

No	Subregiones	Países
I	Golfo de México	México y los Estados Unidos
II	Caribe Occidental	Belice, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá
III	Caribe Nororiental y Central	Bahamas, Islas Caimán, Cuba, República Dominicana, Haití, Jamaica, Puerto Rico e Islas Turcas y Cacos
IV	Caribe Oriental	Anguila, Antigua y Barbuda, Barbados, Islas Vírgenes Británicas, Dominica, Granada, Guadalupe, Martinica, Montserrat, San Martín, Sta. Lucía, San. Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas e Islas Vírgenes de EE.UU.
V	Caribe Sur	Colombia, Antillas Neerlandesas, Trinidad y Tobago y Venezuela
VI	Atlántico Ecuatorial Noroeste	Guayana Francesa, Guyana y Surinam

Fuente: PNUMA, 1994

laguna o bahía, hasta la amenaza de pesca excesiva regional (Burker y Kasserr, 2001). Los impactos pueden incluir extinción de especies, incremento de la incidencia de patógenos y en-

fermedades y pérdida de la productividad biológica (Sullivan y Bustamante, 1999). La tabla 2 muestra las escalas de amenazas y su impacto sobre la biota.

RESULTADOS

Contaminación Marina

La situación de la contaminación marina en zonas costeras, ha sido particularmente difícil de

documentar y concentrar. Los cambios a largo plazo producto de los impactos crónicos en los ambientes marino-costeros están dirigidos a:

Tabla 2. Escalas de amenazas y su impacto ambiental sobre la biota marina de la RGC.

Categoría de Amenaza	Impacto a Macroescala (Regional)	Impacto a Mesoescala (Subregional)	Impactos a Microescala (País o Estados)
Impactos de la captura masiva y la pesca artesanal	Posible extinción de especies más allá de las escalas biogeográficas.	Pérdida de poblaciones, agregaciones de desove o disminución dramática en la abundancia de especies (función ecológica alterada)	Extirpación local de una especie de una isla o de un ecosistema costero aislado.
Degradación y cambios de la calidad del cuerpo de agua.	Posible extinción de especies más allá de las escalas biogeográficas.	Grandes escalas cambian la productividad o diversidad provocando pérdida de estabilidad o producción, especialmente pérdida de pescas productivas. Mortandad masiva de peces.	La contaminación local "focos" altera el uso o utilidad del hábitat en áreas del litoral. Extirpación eventual de algunas especies con esas necesidades de hábitat.
Destrucción física del hábitat incluyendo humedales y arrecifes coralinos.	Posible extinción de especies más allá de las escalas biogeográficas. Posible extinción de comunidades naturales enteras en la región.	La pérdida de comunidades litorales, y la pérdida de producción a nivel subregional debido a la pérdida de áreas de desove.	La extirpación local de una comunidad natural y la producción local sostenida.
Impactos de los cambios climáticos relacionado a las actividades antropogénicas .	Cambios en la distribución y posible extinción de especies. Pérdida de estabilidad de algunas comunidades sensibles al clima (arrecifes de coral y manglares).	Aumento en la actividad tormentosa, aumento o disminución de la lluvia, posibles inundaciones o sequías. Las tormentas catastróficas pueden forzar cambios en el uso de la tierra costera.	Los cambios locales poco probables de detectar, dificultan la identificación sin una información básica regional.
Introducción de especies exóticas. Los ejemplos incluyen plantas invasoras a los pantanos costeros y vectores de enfermedades o patógenos por transporte marítimo.	Impacto a lo ancho de la región por la propagación de enfermedades. Por ejemplo, la mortalidad en los erizos de mar (Diadema). Destrucción a lo ancho de la región de la estabilidad de las playas y zonas costeras debido a la introducción de plantas como la Casuarina.	Cambios de la abundancia de especies en las subregiones, pérdida de comunidades naturales por especies exóticas.	Pérdida de comunidades locales pudiendo ser crítico a las poblaciones, extirpación de una especie local por enfermedad o por competencia con especies exóticas.

Fuente: Burker y Kasserr, 2001

- Pérdida de la diversidad biológica global.
- Disminución de la abundancia de especies importantes o explotables comercialmente.
- Desestabilización de las comunidades naturales que aumentan el potencial de enfermedades, el florecimiento de algas tóxicas y la introducción de especies exóticas.
- Pérdida de ecosistemas o ecotonos que sirven de sostén al equilibrio ecológico.

La magnitud de la degradación costera en la RGC es amplia y hoy en día constituye una amenaza manifiesta a la salud humana a medida que los procesos de eutrofización cultural promueven tanto la proliferación de algas dañinas, como de patógenos. Más allá del daño ecológico y la amenaza a la salud humana, hay una pérdida seria de la calidad de vida de los habitantes (UNEP, 2000). La degradación de la calidad de agua puede ser causada por alteración en las características del agua de mar que mantiene y soporta la biota marina existente, así como sus procesos ecológicos. Los parámetros de calidad del agua de mar varían con las mareas, los cambios estacionales y eventos meteorológicos, incluyendo a los organismos que se han adaptado a un intervalo específico de parámetros físico-químicos y condiciones oceanográficas (Margalef, 1980). Los cambios en la hidrología costera son frecuentemente el resultado de alteraciones provocadas por la actividad humana a largo plazo. Como ejemplo regional está la degradación de los Everglades en la Florida (Cuadro 1), donde según Parker (1984), el impacto se ha acumulado por casi 70 años y los costos estimados para su restauración alcanzan las decenas de miles de millones de dólares.

Cuadro 1. Los Everglades

El proceso de drenaje de los pantanos costeros, el relleno de los humedales y la construcción de canales durante casi 70 años han llevado a la destrucción de un ecosistema de humedales de gran valor. El indicador más concluyente del alcance de esta degradación procede de censos realizados en los Everglades de aves costeras tales como las garzas reales, garzas comunes, ibises y espátulas que se estiman en una población de 30 millones de aves costeras. Esta proporción descendió en la década de los años 90 en 300,000 individuos aproximadamente. La consecuencia de tal degradación derivó en la pérdida de los Everglades como un ecosistema funcional y la disminución de ingresos para el turismo en los Cayos de la Florida, así como pérdidas en la pesca comercial, tanto en la Bahía de la Florida como en sus cayos. Los costos estimados para la restauración del ecosistema se estiman en decenas de miles de millones de dólares (Parker, 1984).

En la figura 2 se observa una vista aérea de los trabajos en los Cayos de la Florida. Estas construcciones fueron viables desde el punto de vista turístico, pero conllevaron a la destrucción de los manglares y humedales, así como convirtieron las edificaciones más vulnerables a los embates ante huracanes y tormentas locales severas. La construcción de estos canales fue prohibida en la Florida en 1978.

Fuente: Davis y Ogden, 1994 .

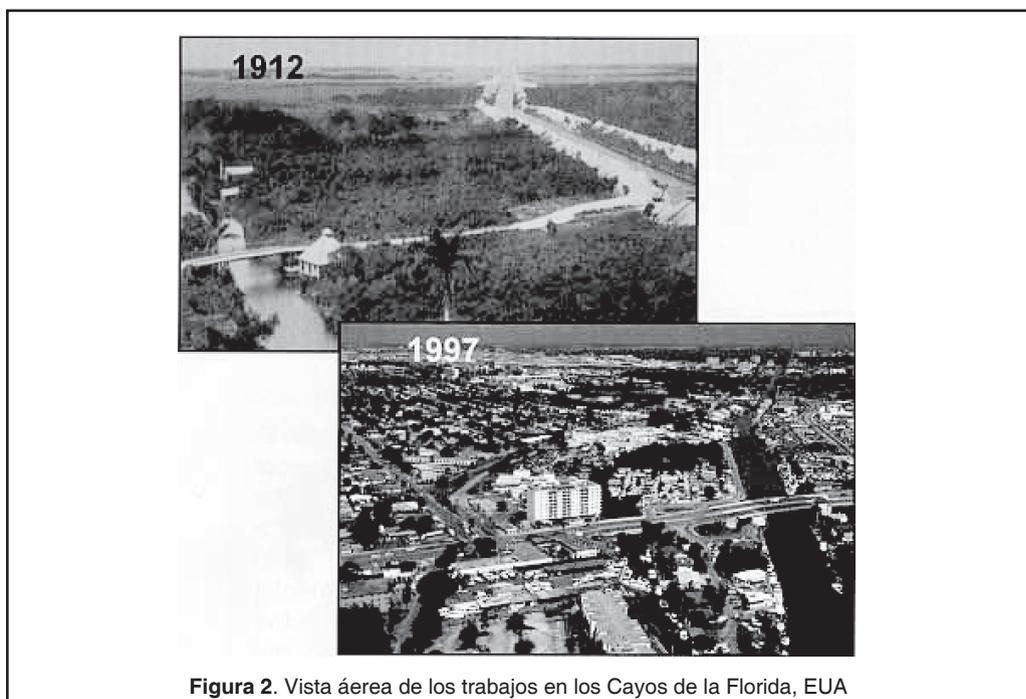


Figura 2. Vista aérea de los trabajos en los Cayos de la Florida, EUA

Aguas Servidas, Nutrientes y Sedimentos

La contaminación provocada por las descargas de aguas servidas sin tratamiento previo —introducción al medio marino de nutrientes (nitrogenados, fosforados y compuestos solubles de silicio), micro-contaminantes y microorganismos patógenos— es el problema más generalizado en la RGC, unido al manejo incorrecto de los residuos industriales, incluido los desechos peligrosos y los residuos sólidos urbanos. El 70% de las costas caribeñas presentan riesgos de contaminación por fuentes terrestres (PNUMA, 1994; UNEP, 1998). El PNUMA en 1994 realizó estudios en el área que arrojaron estimados subregionales de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) —aportada por las fuentes de contaminación de origen terrestre a las áreas costeras— con valores superiores a los 4 millones de toneladas anuales. Las regiones más afectadas correspondieron al Golfo de México y el Caribe Sur con 2 y 1 millones de toneladas de DBO_5 de descargas domésticas al año, respectivamente. Además, se estimó que la carga industrial podría tomar valores hasta 20 veces mayor (PNUMA, 1994). Entre las principales cargas contaminantes de origen industrial se identificaron aquellas procedentes de refinerías de petróleo, fábricas de azúcar de caña y alimentos, destilerías de alcohol, cervecerías, papeleras y las industrias químicas (orgánica e inorgánica). Las refinerías de petróleo contribuyen con el 70% del total de las cargas industriales de DBO_5 y con el 80% de las cargas contaminantes de petróleo (PNUMA, 1994). La eutrofización costera producto de los vertimientos de aguas servidas, constituye un problema regional particularmente agudo en zonas cercanas a los grandes centros urbanos (Sullivan Sealey, 1998).

Desde los años 90 en la RGC se empezó a generar problemas de eutrofización cultural. Actualmente, se estima que la carga total de nutrientes introducida en las aguas del Caribe provenientes de fuentes terrestres es de 1.3×10^5 ton/año de nitrógeno y 5.8×10^4 ton/año de fósforo (UNEP, 2000), lo que produce un enriquecimiento incontrolable de nutrientes en las aguas comunes de la región. Un ejemplo de este fenómeno resulta la porción Noreste del Golfo de México (Cuadro 2) donde se presenta desde los años 70, la llamada “zona muerta” que cubre un área entre 7,000-10,000 km² y es

Cuadro 2.

La Zona Muerta del Golfo de México

El 41% del territorio continental de los Estados Unidos drena al Golfo de México a través del río Mississippi y sus afluentes. En los últimos 20 años ha aumentado considerablemente el contenido de nitrógeno y fósforo provenientes del río de Mississippi y actualmente excede los 1.6 millones de toneladas estimulando el crecimiento de la flora marina. La mayor parte de estos nutrientes provienen de escurrimientos agrícolas del medio oeste de los Estados Unidos (PNUMA, 1994).

La zona representa áreas de drástico agotamiento de oxígeno y comprende áreas de cobertura diferentes de verano a verano. Los investigadores están intentando entender qué factores influyen en el cambio de tamaño y área (Ferber, 2001).

Los primeros informes de esta “Zona Muerta” (Fig. 3) fueron reportados en los inicios de los años 70 y fue descrita como una pequeña área que aparecía sólo después de escurrimiento de primavera hacia el Golfo. En 1999 la “Zona Muerta” del Norte del Golfo de México cubrió un área entre 7,000 km² a 10,000 km² y es considerada la tercera del mundo por su tamaño (Rabalais, 1999).

Un efecto directo ocasionado por este tipo de contaminación y la eutrofización, es la desaparición de peces y la eventual asfixia por falta de oxígeno de los organismos bentónicos. Este fenómeno está repercutiendo en la productividad del ecosistema y en la economía de la región, ya que las pesquerías son un recurso renovable y vital de la zona Norte del Golfo de México que está siendo ampliamente afectado (Antweiler, 1995; Rabalais, 1999).

considerada la tercera más grande del mundo por su extensión (Rabalais y Scovia, 1999).

En la RGC se estima que más de mil millones de toneladas por año de material particulado es depositado en sus aguas. Las cargas fluviales, disueltas y suspendidas, se han incrementado en más del doble en los últimos años debido a las actividades humanas (UNEP, 1999). Valores excepcionalmente altos de sólidos totales son observados en el Golfo de México (Fig. 3). Los sólidos suspendidos incluyen sedimentos y materia orgánica que aportan fundamentalmente nutrientes. Este fenómeno contribuye a la aparición de zonas costeras eutrofizadas por el bloqueo de la luz a las plantas bentónicas (praderas de pastos marinos) y el estímulo del crecimiento de algas que producen un cam-

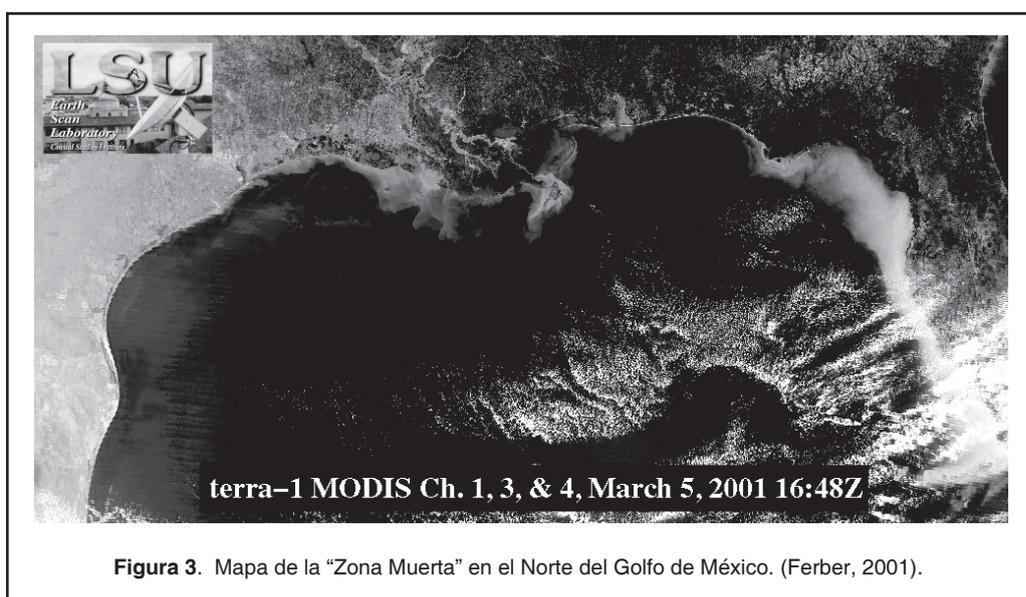


Figura 3. Mapa de la "Zona Muerta" en el Norte del Golfo de México. (Ferber, 2001).

bio significativo en la estructura de comunidades del fitoplancton (Turner y Rabalais, 1991; Lowe *et al.*, 1991).

La creciente turbiedad de las aguas costeras como resultado del transporte fluvial de suelos erosionados hacia el mar, produce la deposición de grandes cantidades de material particulado sobre el fondo marino. Estudios realizados en arrecifes coralinos del Caribe en las costas de Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Cuba, Las Bahamas, Venezuela, República Dominicana y Puerto Rico; confirman el impacto negativo causado por las cargas sedimentarias arrastradas por los ríos que producen una disminución marcada de las poblaciones juveniles de corales, en particular en las costas de Jamaica y Puerto Rico (Cortés y Risk, 1985; GEF/PNUD/PNUMA, 1998; BEST, 1995, 1999; Senior *et al.*, 1999; Woodley *et al.*, 2001; Alcolado, 2003).

El principal problema de contaminación en la bahía de Bluefields en Nicaragua es la enorme carga sedimentaria -con aportes importantes de nutrientes- introducida a la bahía por el río Escondido. El fenómeno de la sedimentación aumenta considerablemente los costos anuales de dragado de puertos para mantener la navegación (GEF/PNUD/PNUMA, 1998).

La minería es otra fuente de ingresos de sedimentos al ambiente costero, ya sea directamente o indirectamente a través de los cursos de

agua. Las minas de bauxita son particularmente importantes a las economías de Jamaica, Surinam, Guyana y en un grado menor, a la República Dominicana, Cuba y Haití. Esta explotación minera se realiza cerca de las áreas costeras, pero existe muy poca información sobre la eliminación de los desechos de minería en los ríos tributarios a las aguas costeras adyacentes (PNUMA, 1994; UNEP, 2000).

En las Antillas Mayores también existen casos evidentes de zonas muy influidas por la descarga directa de aguas residuales sin un tratamiento adecuado que provocan una contaminación orgánica importante. El litoral de Santo Domingo en República Dominicana, la Bahía de La Habana en Cuba y el puerto de Kingston en Jamaica son ejemplos típicos de zonas influidas por las fuentes terrestres de contaminación.

En el litoral de Santo Domingo los grandes volúmenes de aguas servidas vertidas a la línea de costa provocan un impacto negativo en el turismo y la recreación, así como una disminución en la producción de los recursos pesqueros. La hepatitis contraída a partir del contacto primario (natación) en las playas ha alcanzado proporciones casi epidémicas entre la población dominicana. La situación se está convirtiendo aún más crítica a causa de los contaminantes agrícolas que tributan a través del río Ozama y en grado menor por el río Haina. (García Galocha *et al.*, 1998).

A la bahía de La Habana tributan alrededor de 300,000 m³ día⁻¹ de aguas residuales urbano-industriales a través de industrias, drenajes pluviales y ríos con escasos niveles de tratamiento (GEF/PNUD/PNUMA, 1998; Valdés *et al.*, 2002). Este comportamiento introduce aproximadamente 4.8 toneladas de compuestos nitrogenados y 1.2 toneladas de compuestos fosforados, que representa una elevada concentración de nutrientes en sus aguas, estimulando los procesos de eutrofización costeros y mareas rojas, que han sido observados durante las campañas de muestreo en el período 1997-2002. Estos niveles de contaminación representan una severa degradación ecológica y una posible amenaza para la salud pública (González *et al.*, 1997; Beltrán *et al.*, 2000, 2001, 2002). Esta bahía es un clásico ejemplo de una zona costera contaminada, donde los impactos ecológicos pueden ir más allá del ambiente local mostrando un efecto transfronterizo de contaminación.

En la bahía de Kingston en Jamaica, los problemas de contaminación en la zona costera generados por los aportes de nutrientes, está provocando elevados procesos de eutrofización y un deterioro progresivo del ambiente marino-costero con una reducción de la actividad pesquera a niveles muy bajos. Inventarios biológicos parecen corroborar que la contaminación tanto de las aguas como de los sedimentos ha causado una aguda disminución de la diversidad biológica, particularmente de especies comerciales y hábitat frágiles. Así, las aguas del interior de la bahía no pueden ser usadas como playas, reduciendo sus valores turísticos y recreativos (GEF/PNUD/PNUMA, 1998; UNEP/CEP, 1999).

Otro ejemplo en la región de un ambiente costero degradado es el estuario de la bahía de San Juan en Puerto Rico. Estudios realizados en el periodo 1994-1997, mostraron la incidencia negativa de las aguas servidas de la ciudad en el ecosistema, en particular en la zona del Caño de Martín Peña —franja costera muy influida por actividades humanas donde se encontraron valores muy elevados de nitrógeno amoniacal, característicos de cuerpos de agua eutrofizados—. Asimismo, en la laguna de José, en otra zona del estuario, se registraron concentraciones de oxígeno disuelto cercanas

a cero, con afectaciones importantes en la diversidad biológica de la zona (USGS, 1998).

En Las Bahamas se producen florecimientos algales en las aguas costeras del archipiélago con afectaciones a la industria del turismo y la productividad pesquera, por los aportes de nutrientes a través de las aguas servidas (BEST, 1995, 1999).

En la porción caribeña del continente suramericano existen también ejemplos de zonas con evidente contaminación orgánica. En Colombia se encuentran la bahía de Cartagena y la ciénega de la Tesca que son cuerpos de agua contaminados por las descargas de las aguas servidas municipales que depositan materia orgánica y nutrientes tanto en la bahía como en la ciénega y adicionalmente químicos y sedimentos en la bahía, mediante descargas industriales y aportes provenientes de fuentes fluviales (GEF/PNUD/PNUMA, 1998). Ambos ecosistemas reciben entre el 40% y el 60% de todas las aguas servidas de la ciudad, sin ningún tratamiento (Hazen y Sawyer, 1999).

En la ciénega de la Tesca se han experimentado muertes masivas de peces durante las épocas de verano, debido a los altos niveles de contaminación orgánica asociados con la reducción del oxígeno disuelto. A su vez, en la bahía de Cartagena se está presentando un fenómeno de pérdida considerable de profundidad y aumento de la turbiedad —producto de la deposición de materia en suspensión— con afectaciones para la navegación y aumento de los costos asociados por el aumento de las operaciones de dragado en las zonas portuarias, asimismo por las propias causas, en varias zonas costeras se han reducido las actividades para el uso turístico y pesquero (EDURBE-FONADE, 1994; GEF/PNUD/PNUMA, 1998). Adicionalmente, la carga sedimentaria y el transporte de contaminantes, está repercutiendo en el deterioro del Parque Nacional de los Corales del Rosario con la pérdida de valores del paisaje y del ecosistema en general (UNEP/CEP, 1999).

Las bahías de Barcelona, Pozuelos y Bergantín en Venezuela están sometidas al impacto de las descargas de aguas servidas con

una seria degradación ambiental. La bahía de Barcelona, recibe grandes cantidades de materia orgánica y microorganismos patógenos a través del río Neverí y las estaciones de bombeo de la ciudad de Barcelona. Así, en toda la franja litoral se observan claros indicios de eutrofización en sus aguas y limitaciones para el baño (Senior *et al.*, 1997, 1999). En la bahía de Pozuelos, a pesar de que es uno de los polos turísticos más importantes de la región oriental de Venezuela, el uso turístico-recreativo está limitado por los altos valores de los indicadores bacteriológicos reportados en la zona (Senior, y Aparicio, 1993; Senior *et al.*, 1997; 1998; 1999).

La rica biodiversidad de la Costa Atlántica de Guatemala ha propiciado un acelerado desarrollo de la infraestructura portuaria y la industria del turismo con afectaciones en la zona debido al incremento de la inmigración local. En Puerto Barrios, el principal puerto de Guatemala, el desarrollo industrial y la creciente urbanización incontrolada generan elevados volúmenes de cargas contaminantes ricas en nutrientes y sólidos que se vierten sin tratar al mar. Las presiones por inadecuadas prácticas agrícolas, pesca excesiva y la explotación de recursos fósiles ponen en peligro el futuro sustentable de esta región (UNEP/CEP, 1999). En el distrito de Commewijne-Marowijne, Surinam, el inadecuado manejo de los recursos pesqueros y la pesca excesiva, además de los problemas de contaminación marina procedentes de las aguas servidas y el intenso uso de plaguicidas en la agricultura, constituyen las causas principales de la pérdida de los valores costeros en la región. El desarrollo de un programa local para el manejo de las zonas costeras de Union Island, Mayreau y Tobago Cays en St. Vicente y las Granadinas, determinó que la inadecuada gestión y uso de los recursos naturales en las islas, están perjudicando los valores ecológicos de la zona. Adicionalmente, se ha observado una destrucción acelerada de los extensos ecosistemas coralinos presentes en las aguas poco profundas (UNEP/CEP, 1999).

Contaminantes Petrogénicos

Los hidrocarburos del petróleo y sus derivados pueden penetrar en el mar en forma de crudos

(no refinados), con una gran cantidad de compuestos insolubles. Los petróleos refinados, gasolinas y otros combustibles fósiles, tienen un alto contenido de compuestos solubles que pueden dispersarse a grandes distancias por las corrientes oceánicas (OMI, 1991). La contaminación petrogénica que incluye todos los productos del petróleo se manifiesta en dos formas:

- Contaminación crónica (descargas petrogénicas sistemáticas al mar por fuentes terrestres o marinas).
- Contaminación aguda -a menudo catastrófica- (derrames de hidrocarburos al mar)

La RGC sufre un daño considerable debido a vertimientos sistemáticos de hidrocarburos, pequeños derrames y especialmente la descarga de aguas de lavado de tanques en los supertanqueros que son transportadas por las corrientes oceánicas, para terminar como agregados de alquitrán en playas y arrecifes coralinos (OMI, 1991).

Estudios realizados en Cuba demuestran que los archipiélagos Sabana-Camagüey y Canarreos, son áreas visiblemente afectadas por descargas continuas de estos contaminantes, debido a su proximidad con el conocido derrotero marítimo del Canal Viejo de Bahamas (CMC, 1993; Palacios *et al.*, 1998; Alcolado, 2003). En las islas de Barbados y Trinidad & Tobago se producen grandes arribos de agregados de alquitrán a las costas por las actividades off shore, en particular en Mayaro en el Sur de la isla de Trinidad (INPA, 2001).

Según estimados, el 90% de las cargas contaminantes por petróleo que ingresan en las aguas costeras de la región están relacionadas con fuentes industriales, señalándose las refinerías y las plantas petroquímicas como las principales fuentes de contaminación costera por petróleo. Sin embargo, en el informe del PNUMA, se reportó que las cargas contaminantes de petróleo procedentes de fuentes domésticas, fueron más altas en la subregión del Caribe Sur. La subregión del Caribe Nororiental y Central, también mostró estimados relativamente altos particularmente en ambas costas de Puerto Rico (PNUMA, 1994).

El Proyecto CARIPOL, desarrollado entre los años 70 y 80, ha suministrado la única información disponible sobre los niveles de contaminación por petróleo en aguas costeras y sedimentos del Caribe. Estos resultados indican que la concentración de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos en las aguas marino-costeras son generalmente bajas en las aguas frente a las costas y relativamente altas en áreas costeras cerradas (Atwood *et al.*, 1987; CARIPOL, 1987). En sedimentos recientes de acuerdo a los niveles medios de hidrocarburos totales reportados, indicaron la presencia de una contaminación ligera en la región, con una reducida influencia sobre las especies marinas analizadas (Bravo *et al.*, 1978; Botello y Macko, 1982; Garay, 1986; CARIPOL, 1987; Wade *et al.*, 1988). Un resumen de los principales resultados por subregiones es presentado en la Tabla 3.

En estudios más recientes realizados en varios países de la RGC las concentraciones registradas en los sedimentos recientes (Tabla 4), se mantuvieron en el entorno de ecosistemas costeros ligeramente contaminados; resultando las bahías de La Habana y Cartagena las más influidas en la región (GEF/PNUD/PNUMA, 1998).

En zonas costeras próximas a refinerías de petróleo, termoeléctricas y complejos petroquímicos en general, se registró una tendencia al

Tabla 3. Niveles medios de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g.L}^{-1}$) en aguas superficiales de la RGC.			
Áreas Costeras	HPDD Promedio	Desviación Estándar	Número de Muestras
Golfo de México	4.32	8.1	616
Caribe Occidental	8.83	10.5	281
Caribe Nororiental y Central	12.58	23.5	239
Caribe Sur	1.34	3.49	273
Caribe Oriental	1.26	0.99	181

Fuente: Atwood, 1987; CARIPOL, 1987

Tabla 4. Hidrocarburos totales (mg.Kg^{-1} materia seca) en sedimentos recientes del Caribe.

Áreas Costeras	Intervalo de Valores	Promedio
Litoral de Santo Domingo, República Dominicana	16-291	76
Point Lisas, Trinidad y Tobago	1.119	67
Bahía de Bluefields, Nicaragua	27-31	28
Bahía de Pozuelos, Venezuela	5-142	36
Bahía de cartagena, Colombia	23-890	436
Bahía de la Habana, Cuba	685-1212	1026

Fuente: GEF/PNUD/PNUMA, 1998.

aumento de los niveles de contaminación por petróleo, influido por las emisiones de estas fuentes (GEF/PNUD/PNUMA, 1998; Villasol *et al.*, 1998).

La zona marino-costera mexicana del Golfo de México es una de las mayores cuencas de hidrocarburos con una producción superior a las 400,000 toneladas métricas por día, sujeta a un intenso tráfico de buques petroleros que movilizan más de 5 millones de barriles diarios y donde se vierten al mar cerca de 7 millones de barriles al año por el lavado de sus tanques, que ejercen una presión ambiental en los principales ríos, lagunas costeras y estuarios de la zona (Botello *et al.*, 1997). El 50% de los sistemas costeros mexicanos del Golfo de México rebasan el límite permisible de hidrocarburos disueltos para aguas superficiales no contaminadas según criterios de UNESCO (1976), en particular la laguna de Términos en Campeche que registró el nivel más alto de contaminación, seguida por el río Tuxpan y la laguna del Ostión en Veracruz. Las lagunas de Tabasco presentan niveles menores a la norma establecida por la UNESCO y pueden considerarse zonas no contaminadas por hidrocarburos (Botello *et al.*, 1996; Botello, 2000). El sistema estuarino del río Tonalá, ocupa el primer lugar con presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Los sedimentos, en aproximadamente la mitad de los sitios analizados, rebasan la

norma establecida por la UNESCO (1976) para zonas no contaminadas. Los estudios más detallados de organismos marinos (peces, moluscos y crustáceos) se desarrollaron en la década de 80-90 en la región del río Coatzacoalcos, donde se detectaron altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) de elevada toxicidad y potencial carcinogénico, resultando uno de los sitios más contaminados por hidrocarburos del petróleo en el Caribe (Botello *et al.*, 1996). Esta información señala que las aguas y los sedimentos del Golfo de México están más contaminados en relación con otras áreas en la RGC, porque la mayoría de las concentraciones reportadas exceden el límite permisible propuesto por la UNESCO (1976) con la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Estos resultados muestran la intensa actividad petrolera y los aportes persistentes de hidrocarburos del petróleo a los ecosistemas costeros mexicanos (Botello *et al.*, 1997).

Otra vía importante de contaminación por petróleo en la RGC son los derrames de petróleo causados por accidentes marítimos, la explotación de gas y las plataformas de petróleo offshore en el Golfo de México, como consecuencia de roturas de ductos, explosiones e incendios en los pozos, desbordamientos y mal funcionamiento de los equipos. Fuera del Golfo de México se llevan a cabo operaciones similares en el lago de Maracaibo, Venezuela y a lo largo de la costa oriental de Trinidad y Tobago.

La productividad y el comercio de la RGC dependen en gran medida del transporte marítimo. Cada año alrededor de 50,000 embarcaciones cruzan las aguas de la región y alrededor de 82.5% utilizan las facilidades portuarias de la región. La RGC es una de las más importantes zonas de producción de hidrocarburos con cerca 170 millones de toneladas por año (Cetra, 1999).

Existen aproximadamente 100 refinerías de petróleo en RGC que procesan alrededor de 500,106 toneladas de petróleo por año. El 75% de estas refinerías operan en las costas del Golfo de México pero el petróleo refinado es transportado a otros países de la RGC generando un intenso tráfico marítimo de supertanqueros con varias rutas de distribución interna que movilizan como promedio 5 millones de

barriles de crudo por día según Botello *et al.* 1997. De ahí el gran riesgo y vulnerabilidad que se encuentra sometido el Mar Caribe ante los derrames de hidrocarburos.

El derrame de hidrocarburos más conocido en el Mar Caribe fue el ocurrido en el pozo de petróleo IXTOC I (1979) en el Banco de Campeche, al Sureste del Golfo de México durante las operaciones de perforación de gas y petróleo. La explosión del pozo ocasionó la fuga de 30 mil barriles diarios de petróleo crudo ligero durante diez meses para un total de 475,000 toneladas métricas (PNUMA, 1994; IOCARIBE, 1997). El petróleo derramado contaminó gran parte del litoral del golfo mexicano y dañó severamente su franja costera, constituida principalmente de playas arenosas e islas de barreras que protegían a lagunas costeras, estuarios y humedales, ecosistemas que aún no se han estabilizado (PNUMA, 1994; Botello *et al.*, 1996).

La Tabla 5 es representativa de los principales derrames de hidrocarburos ocurridos en la región desde 1962 hasta la fecha.

Aunque recientemente no han ocurrido derrames grandes de hidrocarburos en la RGC, es conocido que grandes volúmenes de hidrocarburos son vertidos desde tanqueros, lo cual incrementa de forma permanente los niveles crónicos de hidrocarburos en el mar y la presencia de agregados de alquitrán en las costas (UNEP/CEP, 1999). Sin embargo, se dispone de una información muy limitada para evaluar estrictamente los riesgos ecológicos y los daños a la salud (Capuzzo. y Moore, 1986; Barron, 1990; Botello *et al.*, 1997). Diversos autores en otras regiones tropicales, han demostrado el impacto que ocasiona la descarga de petróleo en el medio marino, en particular la alta densidad de instalaciones petroleras y los deficientes sistemas de alcantarillados han intervenido en la degradación física de importantes áreas y cambios dinámicos en la ecología de ecosistemas frágiles tales como los arrecifes de coral, lechos de pastizales marinos, bosques de manglares y poblaciones de peces y mariscos mar adentro, en ocasiones con efectos irreversibles (Knapp, 1983; Getter *et al.*, 1985; Gallegos y V. Botello, 1986; Cubit *et al.*, 1987; Thorgaugh y Marcus, 1987).

Tabla 5. Mayores derrames de hidrocarburos en la RGC.

Año	Zona del Derrame	Millones de Litros
1962	ARGEA PRIMA, Guárnica, Puerto Rico	11
1967	Fuga en tubería, Louisiana, USA	25
1968	WITWATER, cerca de la isla Galeta en Panamá	3 Diesel oil y Bunker C
1970	Reventón en plataforma de ultramar	10
1971	SANTA AUGUSTA, St. Croix, U.S.V.I	13 Crudo
1973	ZOE COLOCOTRONIS, Cabo Rojo, Puerto Rico	5 Crudo
1975	GARBIS, Cayos de la Florida US	24-5 Crudo
1976	Ruptura de cañería en Corpus Christi, TX	1 Crudo
1977	Embarcación sin identificar, Bahía de Guayanilla, PR	2 Crudo venezolano
1978	Howard Star, Tampa, Florida USA	15-20% Crudo 80% Bunker
1979	BURHAH AGATE, Texas USA	5-41
1979	ANTLANTIC EMPRESS, afueras de Trinidad y Tobago	158
1979-80	IXTOC I, Explosión en plataforma marina	528-1,626 Crudo
1984	ALVENUS, Louisiana USA	25
1985	RANGER, Explosión en plataforma, Texas, USA	24-52
1986	Refinería las Minas, Panamá	8 Crudo
1991	VISTA BELLA Barge, afueras de St. Kitts y Nevis	2 Bunker C
1994	Berman, San Juan Puerto Rico	375 Fuel oil No. 6
1997	NISOS AMORGOS, Buque tanque Golfo de Venezuela	3.2
2000	Unknown Ship., La Habana Cuba*	0.4 Crudo

Fuente: IOCARIBE, 1997; Cimab, 2000*

Patógenos

La descarga de aguas servidas en la franja costera es una amenaza a la vida marina y a la salud pública. Las aguas cálidas del Caribe, contribuyen a la proliferación y crecimiento de bacterias y virus patógenos que causan serias enfermedades al hombre. La hepatitis, el cólera no-contagioso y la meningitis pueden ser contraídas durante la exposición de aguas contaminadas. La carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales, constituye adicionalmente otra amenaza de propagación de enfermedades bacteriológicas en los ambientes marino-costeros. En consecuencia, la preocupación en la salud pública cubre actividades tan comunes como bañarse en la playa o comer alimentos marinos de zonas locales (Ward y Singh, 1987; Broutman y Leonard, 1988; Short, 1991).

La bahía de La Habana en Cuba es un ecosistema cerrado con un severo deterioro sanitario y elevada contaminación microbiológica con valores de 10^3 NMP/100 mL superiores a la norma cubana NC 22:1999 para contacto directo e indirecto (González *et al.*, 1997; Beltrán *et al.*, 2000 y 2002). En Las Bahamas se ha advertido a la población durante la etapa alta del turismo evitar el consumo de cobos (*Strombus gigas*) y otros moluscos, debido a la presencia del patógeno *Vibrio* sp. porque cuentan con estadísticas sobre el incremento de enfermedades asociadas con este patógeno e incluso un caso de fallecido reportado (BEST, 2002).

El Golfo de México muestra una acentuada y evidente contaminación bacteriológica (Wong y Barrera, 2000) a causa de los vertidos de aguas

residuales urbanas sin un tratamiento adecuado procedentes de las ciudades costeras de Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, El Carmen y Campeche, así como otras áreas densamente pobladas y distantes del altiplano. Las aguas de las principales lagunas costeras donde se cultiva el ostión (laguna de Tamiahua en Tamaulipas, lagunas Mandinga, Pueblo Viejo y Alvarado en Veracruz, así como las lagunas Mecocacán y Carmen-Machona en Tabasco), presentan niveles de contaminación bacteriana que exceden los límites permisibles para áreas de cultivo de moluscos. En la localidad del río Coatzacoalcos, Veracruz, los estudios ambientales realizados por Botello *et al.*, 1986, indicaron altos y constantes valores de bacterias coliformes con contaminación microbiológica de la red de agua potable, así como la descarga de aguas residuales sin tratar en estuarios, ríos y lagunas. En Campeche, donde la producción pesquera es comercialmente importante, los niveles de coliformes fecales en agua, sedimentos y especies marinas esenciales para el consumo humano, están excediendo las normas de salud pública nacional. Como consecuencia, ningún ostión cultivado en el área (30,000 toneladas por año de ostras), puede exportarse por el riesgo que representan para la salud humana (Botello *et al.*, 1996). En el periodo 1995-1998 se presentaron en el litoral del Golfo de México un elevado número de casos de cólera producidos por la bacteria *Vibrio cholerae*. Castañón *et al.* (1999) y Wong *et al.* (2000), reportaron recientemente la aparición de un segundo caso fatal por infección de esta bacteria alojada en alimentos marinos contaminados.

Agentes Tóxicos

Los agentes tóxicos conocidos como sustancias tóxicas persistentes (plaguicidas sintéticos, metales trazas, dioxinas) están presentes en los programas de vigilancia de la RGC. Encuestas realizadas en el Programa Mussel Watch de la NOAA/COI/PNUD indican que los derivados del DDT y el lindano son los compuestos más abundantes entre los plaguicidas presentes (NOAA, 1995; UNEP, 2002). En el litoral del Golfo de México se emplean anualmente más de 2.6 millones de kg de sustancias activas, relacionadas con la agricultura o en la eliminación de vectores, en particular los plaguicidas fosfo-

rados y clorados, carbámicos, tiocarbámicos y los derivados del cobre (Botello *et al.*, 1996, 1997) que tienen un impacto adverso sobre las larvas de especies marinas que habitan los arrecifes de coral y pueden ser acumulados a través de la cadena trófica. Asimismo, estudios recientes indican elevadas concentraciones de plaguicidas organoclorados en muestras de leche materna de mujeres que habitan las áreas costeras rurales del Sureste mexicano, lo que pone de manifiesto el elevado riesgo a la salud humana de este tipo de contaminación (Botello *et al.*, 1998), siendo la zona más influida por la presencia de compuestos altamente persistentes (PNUMA, 1994).

Varios países del Caribe involucrados en los Proyectos del GEF/PNUD/PNUMA también reportaron el DDT y sus derivados como el principal contribuyente a la contaminación por residuos de plaguicidas, aunque otros plaguicidas organoclorados presentaron alguna incidencia en la mayoría de los países estudiados (GEF/PNUD/PNUMA, 1998). En las aguas costeras de Santo Domingo se detectaron concentraciones medias de Σ HCH (de múltiples uso en la agricultura y en actividades domésticas) de 5.1 ng.L^{-1} y dieldrin de 4.1 ng.L^{-1} (García Galocha *et al.*, 1998). En el Sudoeste cubano, de intensa actividad agrícola, durante el periodo 1992-2001 se encontraron concentraciones en sedimentos de DDT con intervalo de $4.6\text{-}61.4 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ peso seco y lindano entre $0.4\text{-}44.2 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ peso seco, así como en moluscos con valores de DDT entre $1.7\text{-}23.7 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ peso seco (Dierksmeier, 2002). Un reporte de Cimab (1998) sobre la aplicación de plaguicidas en Colombia, Panamá, Nicaragua y Costa Rica, muestra el uso de los agroquímicos empleados en las plantaciones bananeras. Además, el control de pandemias (malaria, dengue y paludismo) ha propiciado un alto consumo de plaguicidas persistentes y como consecuencia sus costas se encuentran muy influidas por estas sustancias tóxicas.

Los metales tóxicos entran en el ambiente marino por fuentes terrestres. Así, las actividades mineras constituyen una de las fuentes principales de contaminación de metales en las zonas costeras de la región, en particular en México, Cuba y Jamaica (PNUMA, 1994). El establecimiento de criterios, guías, objetivos y estándares de calidad para los metales pesa-

dos, con el propósito de proteger los ambientes marino-costeros es una tarea compleja y la mayoría de los países de la región carecen de los mismos (Mac Donald *et. al.*, 1992; UNEP, 2002), dando como resultado que no se encuentre disponible en la región toda la información cuantitativa. Solamente en algunas zonas críticas, donde existen altos niveles de contaminación se reportan niveles de metales en sedimentos y organismos marinos.

Los países involucrados en los proyectos GEF/PNUD/PNUMA, presentaron una marcada contaminación por Cu, Pb y Zn, indicadores por excelencia de actividades humanas y relacionados con las descargas de aguas residuales urbano-industriales sin tratar. Adicionalmente, se detectó que en las zonas costeras cercanas a actividades petrolíferas —litoral de Santo Domingo en República Dominicana y la bahía de Pozuelo en Venezuela— donde se asientan complejos petroquímicos, existe presencia de niveles significativos de metales en los sedimentos, en particular el plomo y en menor medida el vanadio, níquel, zinc y mercurio (GEF/PNUD/PNUMA, 1998).

En la región costera del Golfo de México y la Cuenca del Gran Caribe, los resultados revelan una alta contaminación de metales pesados en las matrices agua, sedimentos y organismos (moluscos, crustáceos y peces) en lagunas, y ríos de los estados costeros (Veracruz y Tabasco) y es donde existe una mayor concentración por plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel y zinc, debido al incremento de las actividades industriales aledañas a la costa del golfo mexicano. La presencia de metales como plomo y cadmio por encima de los límites permisibles ponen de manifiesto la elevada contaminación por metales de carácter tóxico que existe en el Golfo de México con riesgos para la actividad pesquera. Asimismo, la salud del hombre se ve afectada por la ingestión de alimentos marinos contaminados (Botello *et. al.*, 1996).

En el reporte de UNEP de 2003, acerca de la tendencia por regiones de las sustancias tóxicas persistentes se consideró que en toda Latinoamérica y el Caribe, ninguno de los países poseen un inventario nacional detallado sobre este tipo de sustancias, reconociéndose que muy pocos estudios se han llevado a cabo para determinar los impactos de estos conta-

minantes en los recursos marinos y costeros (UNEP, 2002a; UNEP, 2003).

Residuos Sólidos, Desechos Marinos y Agregados de Alquitrán

En la RGC existe un manejo deficiente de los residuos sólidos urbanos e industriales y en muchos países de la región son evidentes las prácticas de utilizar los ríos y cursos de agua como vertederos de residuos sólidos, al igual que los pantanos de manglares. La falta de educación ambiental magnifica esta situación (PNUMA, 1994; UNEP, 2000).

Los residuos sólidos en la línea de costa son usualmente conocidos como desechos marinos y pueden proceder de fuentes marinas tales como los desechos de buques, materiales de pesca, restos de equipamiento de las plataformas de petróleo (offshore) y por deriva desde otras playas, así como de fuentes terrestres, en particular la escorrentía superficial, aportes de la industria turística, construcciones en el litoral y zonas costeras asociadas con vertederos no controlados de residuos sólidos urbanos (Golik y Gartner, 1992; Nollkaemper, 1994). La eliminación de la basura de buques en áreas cercanas a las costas está reglamentada por el Anexo V del Convenio MARPOL 73/78. El Comité Marítimo Ambiental de la OMI (MECP 31) designó a la Región del Gran Caribe como "Área Especial" bajo los reglamentos anteriores (IMO, 1997). Hasta la fecha existe muy poca información publicada referente a la cantidad de desechos sólidos que se generan en la región, un estimado promedio hacia 1996 reveló que unos 35 millones de turistas que visitaron la región generaron más de 700,000 toneladas de basura (UNEP, 2000). En la RGC reviste especial importancia el manejo de los desechos generados en los barcos cruceros porque se concentra el 50% de los pasajeros que transitan por esta vía, con ingresos de 3 000 millones de dólares por año. La Tabla 6 muestra un estimado anual de 15 puertos seleccionados en el Caribe del tráfico de buques y la cantidad de basura descargada. Se observa que aunque los cruceros representan sólo el 10% del total que arriban a puertos del Caribe, éstos generan aproximadamente el 77% de la basura total (WCISW, 1996a y b).

Tabla 6. Tráfico de buques en el Caribe y las basuras descargadas anualmente.

Tipo de Buque	Atraque en Puertos		Basura Descargada	
	No. de Buques	%	Toneladas	%
Cruceros	1,833	10.7	19,350	77.24
Carga internacional	6,490	38.0	3,766	15.03
Tráfico costero	6,363	37.3	1,476	5.9
Militares	310	1.8	310	1.2
Pesca	252	1.5	13	0.05
Buques privados	608	3.6	116	0.5
Otros	1,218	7.1	21	0.08
Total	17,074	100	25,052	100

Fuente: WCISW, 1996a y b

Otro de los desechos comunes en los mares de la región son los agregados de alquitrán que son el resultado final de la emulsificación e intemperismo de los hidrocarburos del petróleo al estar expuestos al ambiente marino y están reconocidos como un fenómeno global y son indicadores alarmantes de la contaminación de océanos y aguas costeras. Estos desechos presentan una degradación muy lenta pues poseen un área superficial degradable muy pequeña comparada con su volumen. Según Clark (1986), los lavados de tanques de buques petroleros y las operaciones navales de rutina constituyen el origen principal de los agregados de alquitrán. Sin embargo, el propio autor atribuye una fracción importante en la contaminación del mar por hidrocarburos, a las descargas domésticas e industriales procedentes de las fuentes terrestres. Los resultados obtenidos por el Proyecto CARIPOL indicaron altas acumulaciones de estos contaminantes a lo largo de las playas de las costas del Sur de la Florida, islas Caimán y Curazao y sobre las playas a barlovento de Barbados, Granada y Trinidad & Tobago (Atwood *et al.*, 1987; Vásquez-Cortés *et al.*, 1987; CARIPOL, 1987; Heneman, 1988).

Estudios realizados en Cuba, sobre la presencia de agregados de alquitrán en la zona turística de playas del Este en la ciudad de La Habana, reflejaron una gran incidencia a lo largo de toda la zona litoral con una marcada diferencia de su presencia en las diferentes épocas del año. En los meses donde los vientos del

norte y las corrientes marinas del golfo dejan sentir su influencia en las costas cubanas, es cuando son depositadas las mayores concentraciones (CIGEA, 1998; Palacios *et al.*, 1998).

Hábitat Costero

Arrecifes Coralinos y Zonas de Manglares

La destrucción física del hábitat ocurre cuando éste es dragado o rellenado debido al desarrollo costero o en la construcción de puertos. Igualmente importante es la degradación física del hábitat que se fragmenta o degrada en una magnitud tal, que deja de ser un componente ecológico viable del medio ambiente. En el Caribe la comunidad científica le ha prestado la mayor atención a la pérdida de los bosques de manglares y arrecifes coralinos, aunque hay también pérdidas de pastos marinos, hábitat de fondos pantanosos y zonas arenosas (Woodley *et al.*, 2001). Aproximadamente el 7% (alrededor de 20,000 Km²) de los recursos de arrecifes coralinos mundiales están localizados en la RGC. Sin embargo, el 29% de las áreas de arrecifes está sometido a alto riesgo por diversas causas, en particular los procesos de contaminación en las zonas costeras (UNEP, 2000, 2001, y 2002a). La figura 4 muestra la posición del hábitat de arrecifes coralinos en la región, clasificados en tres niveles de riesgo: bajo, medio y alto (Lang *et al.*, 1998).

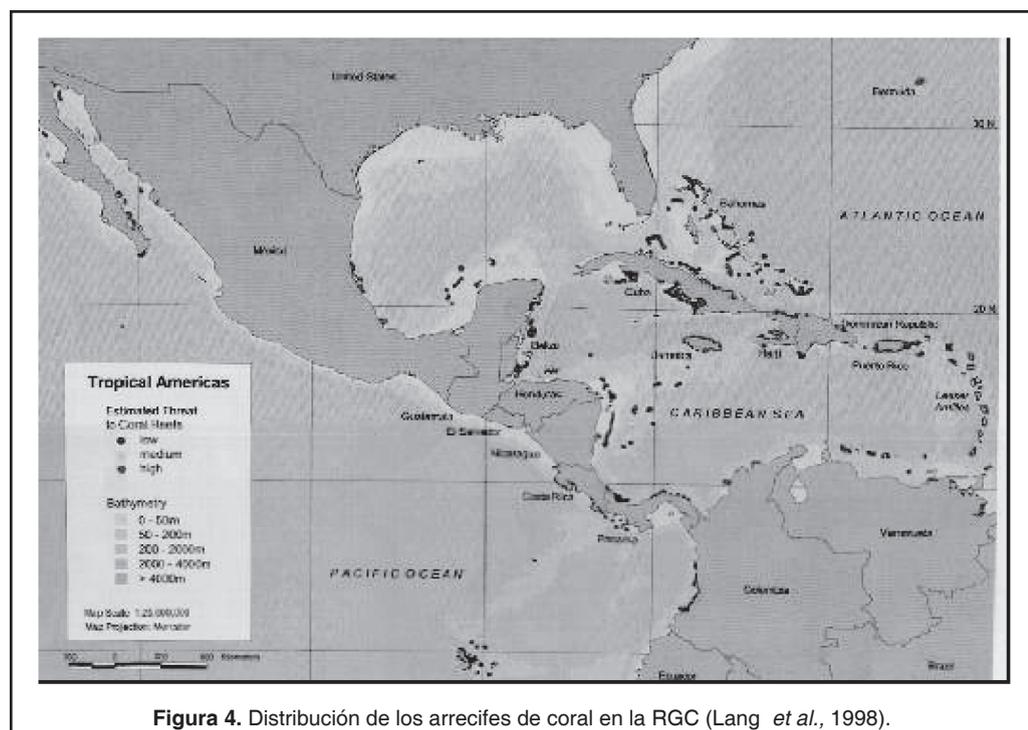


Figura 4. Distribución de los arrecifes de coral en la RGC (Lang *et al.*, 1998).

La situación de los arrecifes coralinos en la Región del Caribe se presenta en la Tabla 7.

Las principales actividades humanas que generan cambios físicos en el ambiente costero en la mayoría de los países de la región, son el desarrollo costero y sus consecuencias. Entre los más afectados están los Estados Unidos (La Florida), México (costa del Golfo de México), Colombia (Corales del Rosario), Venezuela (Isla Margarita), Guatemala (costa Atlántica), Barbados y casi todas las Antillas Menores (UN/DIESA, 1979; AIMS, 1998; Lang *et al.*, 1998; UNEP/CEP, 1999; UNEP, 2002a).

El impacto de fuentes terrestres está muy generalizado en la región debido a la deforestación para uso agrícola, extracción de maderas, minería, acuicultura y represamiento de ríos. Por ejemplo, en Colombia y República Dominicana, se ha desarrollado la camaronicultura a costa de los manglares y esto ha provocado erosión, sedimentación e incremento de nutrientes al mar (PNUMA, 1999).

Un ejemplo de degradación a las comunidades costeras, es el destino de los arrecifes de coral en la costa norte de Jamaica. Los arrecifes de coral han cambiado desde la década de

los años 50, cuando por primera vez se describió el crecimiento activo de arrecifes de coral predominantes en el ecosistema de Discovery Bay en Jamaica (Hughes, 1994). La combinación de la pesca excesiva, la degradación de la calidad del agua y la pérdida de bosques de manglares, así como las afectaciones a los corales debido al paso de los huracanes Allen en 1980 y Gilbert en 1988, dejaron a los arrecifes sin peces, especialmente los peces que se alimentan de algas y caracoles que dañan a los corales (PNUMA, 1989). Cuando el Huracán Gilbert pasó por Jamaica en 1988, causó un gran daño a los arrecifes los cuales no pudieron recuperar su cobertura original de coral. Actualmente, estos arrecifes están poblados de algas en su mayoría, con muy poco coral pétreo. Estas algas no aglomeran un esqueleto pedregoso como los corales, dejando la zona costera más vulnerable ante la energía de las tormentas de olas, tampoco brindan el hábitat necesario para muchos peces de arrecifes, por tanto el potencial productivo se redujo. El impacto global es tanto una pérdida de funciones ecológicas de las comunidades que habitan en los arrecifes como de servicios, siendo esta pérdida irreversible. La comunidad de arrecifes perdió estabilidad, resistencia y finalmente flexibilidad para subsistir y recuperarse ante la

Tabla 7. Situación de riesgo de los arrecifes de corales en la Región del Gran Caribe.

Zona	Superficie de Arrecifes (km ²) por Nivel de Riesgo				%		
	Total	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Gran Caribe	20,000	7,800	6,400	5,800	39	32	29
Sólo Antillas Menores	1,500	0	300	1,200	0	20	80

Fuente: AIMS, 1998.

perturbación. Jamaica perdió para siempre los servicios ambientales de un arrecife productivo (PNUMA, 1989).

En Las Bahamas ambos biotopos se han visto severamente impactados por las diferentes actividades humanas, en particular el incremento de la industria del turismo y las acciones ilegales de una pesca destructiva (BEST, 1995; 1999). Según el Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs (BOIESA) la disminución de la contaminación puede revertir el proceso de depauperación de los corales (BOIESA, 1998); un ejemplo se tiene en Hawai, donde después de 30 años de afectación por aguas residuales, se aplicaron métodos de tratamiento que resultaron en un aumento de la transparencia del agua, disminución de los nutrientes y el plancton, lo que contribuyó a que en aproximadamente en 10 años se duplicara la cobertura de corales (Grigg, 1995; Hunter y Evans, 1995). Los cambios climáticos también pueden traer consecuencias adversas para los corales y otros organismos. Entre 1998 y 1999 se produjo un blanqueamiento masivo de corales (en ocasiones hasta la muerte de las colonias) en el Caribe, asociado a un severo evento del fenómeno "El Niño" (ENSO), ocurrido paralelamente ese año (AIMS, 1998). Lamentablemente, el grado de mortalidad no fue medido, pero se presupone que fueron eliminados alrededor del 10% del total de las colonias en la región (Alcolado, 2003; Woodley *et al.*, 2001). Los manglares y los humedales costeros son hábitat importantes ya que proporcionan protección, zonas de desove y alimentación para los peces, cangrejos, langostas, reptiles, aves y mamíferos. Los manglares proporcionan una barrera física que protege la zona costera de la erosión y sirve como un fil-

tro natural para eliminar contaminantes que fluyen de la tierra al mar. Las mayores poblaciones en el Caribe se encuentran en el continente y en los países de las Antillas Mayores (Sullivan Sealey y G. Bustamante, 1999). Los manglares como hábitat son destruidos por el relleno de áreas costeras para el desarrollo y la contaminación. La desviación u obstrucción del drenaje natural de los ríos ha ocasionado grandes daños; un ejemplo es la muerte masiva de bosques de manglares en la cienaga de Santa Marta en Colombia. La deforestación tierra adentro provoca erosión y arrastre de sedimentos que afectan el mangle al cubrir sus raíces aéreas que le sirven para respirar (Ulloa, 2000).

La depauperación o eliminación de manglares no sólo afecta a las diversas especies dependientes (el manatí y el cocodrilo están seriamente amenazados en la región), también puede disminuir las pesquerías y variar la composición por especies, ocasionando un impacto a largo plazo en la producción pesquera. Muchas especies de valor comercial completan su periodo de vida en las áreas de manglares y dependen de este hábitat para su supervivencia. La sedimentación, arrastres de nutrientes, plaguicidas y residuos sólidos derivados de la desaparición de estas plantas, tienen graves repercusiones sobre las praderas marinas y los arrecifes coralinos.

En la RGC hay varios países donde los manglares se han afectado sensiblemente, en particular Colombia, Jamaica y México. En este último, se considera que el 65% de los manglares se han perdido debido al desarrollo costero (UNEP, 1999). En el caso de Puerto Rico el 75% de los manglares y las zonas costeras frágiles de la isla están afectadas (USGS, 1998).

En Haití aunque aún no se ha realizado una cuantificación de los efectos negativos de las actividades humanas sobre esos ecosistemas, por inspecciones muy visibles se reconoce que se presenta una situación muy similar (Sullivan Sealey, 1998).

Pérdida de la Biodiversidad

El medio ambiente marino-costero de la RGC es el hogar de 29 especies de mamíferos marinos, algunos residentes estacionales y otros residentes por ciclos anuales. Existen además, alrededor de 800 especies de peces marinas y estuarinas, miles de peces invertebrados, cuatro especies de tortugas marinas y dos especies de cocodrilos. Sin embargo, solamente pocas especies marinas de importancia comercial son monitoreadas regionalmente, en particular los bancos de langosta espinosa y se conoce que existen varias especies extinguidas.

La región de América Central y el Caribe insular, poseen una extraordinaria biodiversidad, especialmente en sus bosques y arrecifes coralinos. La pobreza genera por sí misma las amenazas más graves al medio natural ya que la subsistencia cotidiana es la prioridad esencial de los pobres e indigentes. El principal problema es cómo evitar la destrucción del hábitat y la consiguiente desaparición de especies. La expansión agrícola, deforestación y desmonte de humedales ha reducido las poblaciones de muchas especies. Por ejemplo, México alberga el 51% del total de aves migratorias del Norte del continente, pero la pérdida de sitios de hibernación (por deforestación y otros usos de la tierra) puede amenazar la supervivencia de estas poblaciones (UNEP, 1999). También la pérdida del hábitat por la tala de bosques es la responsable de que probablemente se haya extinguido el carpintero real cubano (*Campephylus principalis*), que habita en los últimos bosques vírgenes del oriente de Cuba y está considerado el ave más rara del mundo, pues sólo se tienen evidencias no visuales de su existencia desde hace unos 15 años (Regadera, com pers.). No se ha hecho una evaluación sistemática de la desaparición de especies, pero lo poco que se conoce indica un impacto severo. Cerca de 400 especies de vertebrados se encuentran en mayor o menor grado amenazadas en el Caribe insular y América Central (UNEP, 1999). Diversos esfuerzos se han hecho como el creciente número

de zonas protegidas, pero aún son insuficientes, hay ecosistemas poco o no representados y además, muchos están instrumentados sólo en forma legal, pues en la realidad apenas funcionan. La figura 5 presenta las principales especies amenazadas en la región.

Se observa que la región enfrentará un incremento considerable en la pérdida de la diversidad biológica y un aumento del costo por concepto de "especies amenazadas" para proteger poblaciones remanentes de especies como el manatí (*Trichechus manatus*) de las Indias Occidentales (Fig. 6). Esta especie fue originalmente reportado en 19 países de la región pero en la actualidad ha experimentado una disminución drástica en las poblaciones debido a la caza —el manatí es vulnerable a la caza por sus hábitos y por presentar una tasa de reproducción muy baja (PNUMA, 1995)— y la degradación del hábitat.

Las principales amenazas a la que está sometida esta especie son el desarrollo costero, por pérdida de hábitat y la contaminación, represamiento de ríos que impiden sus movimientos y afectan sus zonas de alimentación y apareamiento, la caza ilegal, la captura inci-

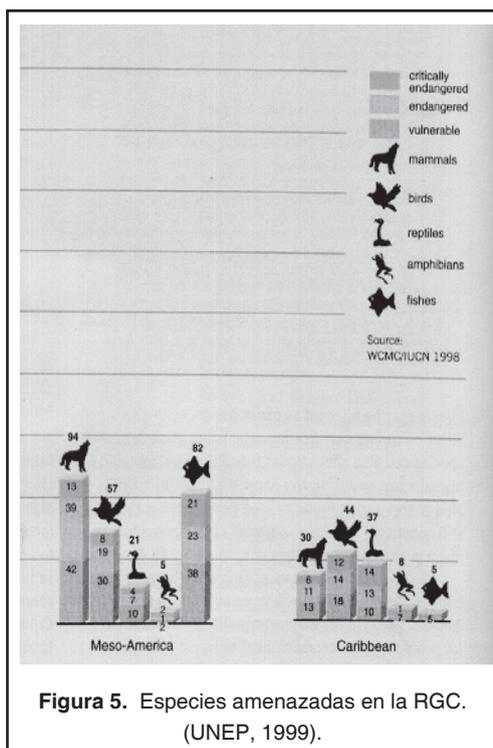


Figura 5. Especies amenazadas en la RGC. (UNEP, 1999).

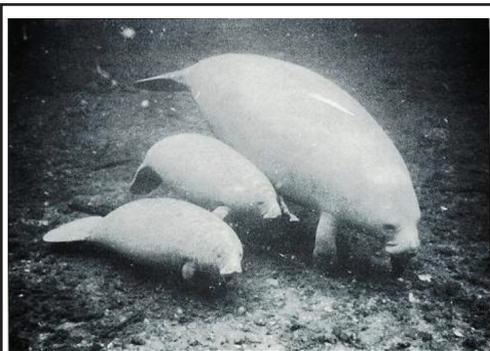


Figura 6. La familia del Manatí en las aguas del Mar Caribe (PNUMA, 1995).

dental en artes de pesca, el dragado y la eliminación de praderas marinas que son zonas de alimentación y colisiones con botes de motor (PNUMA, 1995).

CONCLUSIONES

En la RGC los asentamientos humanos han provocado diversos impactos en los ecosistemas marinos y costeros a lo largo de la historia que van desde la extracción directa de sus recursos, la modificación o total destrucción tanto de los ecosistemas como de su hábitat, hasta los efectos indirectos provocados por actividades que se desarrollan a cientos de kilómetros de las costas. Por ejemplo, la modificación de los patrones hidrológicos por la retención del agua en presas y su desvío hacia campos agrícolas. Se ha identificado a la deforestación, la minería, la pesca y la agricultura como las actividades económicas que en mayor medida afectan la calidad ambiental de los ecosistemas marinos y costeros de la Región del Gran Caribe.

En evaluaciones globales recientes se ha identificado a las fuentes terrestres de contaminación como las responsables de alrededor del 70% del deterioro de las zonas marinas y costeras. Lamentablemente la RGC no es la excepción (PNUMA, 1995). Las principales fuentes de contaminación terrestre que inciden sobre la RGC son las aguas residuales indus-

triales y domésticas, así como las fuentes no puntuales que contienen agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas. La carencia de servicios de disposición y tratamiento de las aguas servidas en gran parte de la región constituye un problema habitual que se agudiza al sumarle el crecimiento poblacional.

En la región muchos arrecifes coralinos, esteros y lagunas costeras han sido alterados o destruidos físicamente, ya sea por azolve, contaminación o modificación de los patrones hidrológicos mermando así significativamente su potencial como hábitat. Todo este detrimento de la calidad ambiental no solo está afectando la disponibilidad de alimento, la pérdida de la biodiversidad biológica, la disminución de la abundancia de especies importantes y la destabilización de las comunidades naturales sino que también se generan focos de infección provocando enfermedades como el cólera, la hepatitis o el envenenamiento por consumir alimentos contaminados por toxinas de la marea roja o de agroquímicos, hidrocarburos o metales pesados.

LITERATURA CITADA

AIMS, 1998. Status of Coral Reefs of the World. Cleve Wilkinson (Ed.). Australian Institute of Marine Science.

Alcolado, P., 2003. Coral Reef Conditions in Cuba. Biodiversidad marina I. VI Congreso de Ciencias del Mar. Marcuba 2003, La Habana. Memorias CD, ISBN 959-7164-53-1.

- Antweiler R, C., A. Donald and H. E. Taylor, 1995.** Contaminants in the Mississippi River - Nutrients in the Mississippi River. *US Geological Survey*, 1133:35-48.
- Atwood, D., F. J. Burton, J. Corredor, G. H Harvey, A. J. Mata-Jimenez, A. V. Botello y B. A. Wade, 1987.** Resultados del Proyecto CARIPOL de vigilancia de petróleo en el Gran Caribe. *Mar. Poll. Bull.*, 18 (10): 540-548.
- Barron, M. G., 1990.** Bioconcentration: will water-borne organic chemicals accumulate in aquatic organisms. *Environ. Sci. Technol.*, 24 (11): 1612-1618.
- Beltrán, J. et. al., 2000.** Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente". Informe Final Vigilancia Ambiental para la Bahía de La Habana. Cimab, 53p.
- Beltrán, J. et. al., 2001.** Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente. Informe final. Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana. Cimab, 46p.
- Beltrán, J. et. al., 2002.** Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente. Informe final. Vigilancia ambiental para la Bahía de La Habana. Cimab, 69p.
- BEST, 1995.** Bahamian Country Study. Bahamas National Biodiversity. Bahamas Environment Science and Technology Commission. The Government of The Bahamas. Nassau New Providence. The Bahamas, 25p.
- BEST, 1999.** National Biodiversity Strategy and Action Plan for the Commonwealth of the Bahamas. Submitted by BEST Commission and The Bahamas National Trust to the United Nations Environmental Programme 31 p.
- BEST, 2002.** Bahamas Environmental Handbook. Bahamas Environment Science and Technology Commission. The Government of The Bahamas. Nassau New Providence. The Bahamas, 118 p.
- Botello, A. V., y S. A. Macko, 1982.** Oil pollution and the carbon isotope ratio in organisms and recent sediments of coastal lagoons in the Gulf of Mexico. *Oceans. Acta. (SP)*: 56-62.
- Botello, A. V y F. Paéz, 1986.** El Problema Crucial: La Contaminación. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo. México Vol. I 180p.
- Botello, A. V; J. L. Rojas; J. A. Benítez y D. Zárate, 1996.** Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad. Autónoma de Campeche, 666 p.
- Botello, A. V; F.S. Villanueva, y G. G. Díaz, 1997.** Petroleum pollution in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Rev. Environmental Contamination Toxicology*, 153: 91-118.
- Botello, A. V., G.G. Díaz, y L. Rueda-Quintana, 1998.** Persistent organochlorine pollutants in coastal environments of Southeast Gulf of Mexico, Mexico, p. 116-117. *In: Proc. of the International Sym. on Marine Pollution*, Monaco.
- Botello, A. V., 2000.** Diagnóstico de la Industria Petrolera en Tabasco. Informe Final IV Etapa Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México, 185p.
- Bravo, H., A. Salazar, A. V. Botello y E. F. Mandelli, 1978.** Polyaromatic hydrocarbons in oysters from coastal lagoons of the Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam.*, 19: 171-177.
- Broutman, M. A., y D. L. Leonard, 1988.** The Quality of Shellfish Growing Waters in the Gulf of Mexico". National Estuarine Inventory NOAA, Strategic Assessment Branch, Rockville, MD.
- Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs (BOIESA), 1998.** Coral Reefs and Pollution. Coral Reefs and Land Based Sources of Marine Pollution. Us Dep. Of State.
- Burke, L., y Y., Kasserr, 2001.** Análisis Piloto de Ecosistemas Globales: Ecosistemas Costeros. World Resources Institute, Washington, D.C.93p.
- Capuzzo, J., y M. Moore, 1986.** Acute and chronic effects of toxicological chemical in aquatic organisms, p. 16-18. *In: Toxic Chemicals and Aquatic Life: Research and Management. Symp.*
- CARIPOL, 1987.** Proceeding of Symposium on the Results of the CARIPOL Petroleum Monitoring Project. *Caribbean Journal of Science*, 23(1): 1-14.
- Castañón J., L. Martínez, R. Miranda, y R. Torres, 1999.** *Vibrio vulnificus* infection in México. *Revista Médica, IMSS*, 38(1):23-25.
- Center for Marine Conservation (CMC), 1993.** 1992 International Coastal Cleanup Report. Washington, DC., 215 p.
- CETRA, 1999.** Estudio del mercado de trasbordo de contenedores en el Caribe". Informe Técnico. Grupo IT, La Habana, 48 p.
- CIGEA, 1998.** Situación Ambiental Cubana. La Habana. Informe Anual CITMA/CIEN. 30 p.

- CIMAB, 1998.** International water's protection through enhancement of pesticide's management practices and control programmes in one part of the Caribbean Sea. Report on Permanent Organic Pollutants effect in marine waters in Colombia, Costa Rica and Panama, a consultant work. Project Proposal for UNEP -CAR - RCU.,11 p.
- CIMAB, 2000.** Dictamen técnico de muestras colectadas en el derrame de petróleo en la costa de ciudad de La Habana. Dictamen Técnico. La Habana, 9p.
- Clark, R. B., 1986.** Marine Pollution. Claredon Press. 215 p.
- Cortés, J., y M. J. Risk, 1985.** A reef under situation stress: Costa Rica. *Bull. Marine. Science*, 36 (2):339-356.
- Cubit, J. et al., 1987.** An oil spill affecting coral reefs and mangroves on the caribbean coast of Panama, p. 401-406. *In: Proc. of the 1987 Oil Spill Conference.* American Petroleum Institute, Washington, DC. 26.
- Davis S. M., y J.C. Ogden (Eds.), 1994.** Everglades: the Ecosystem and Its Restoration. St. Lucie Press, Delray Beach, Florida, 334 p.
- Dierksmeier, G., 2002.** Cuba Country Report on Persistent Toxic Substances. Region X – IRET/CSUCA, Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances (GF/XG/XG/4030-00-20), FMAM/UNEP. 25 p.
- EDURBE-FONADE, 1994.** Estudio del Comportamiento Hidráulico-Ambiental de los Caños y Lagos de Cartagena". Informe Final. Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental. UC. 34 p.
- Gallegos, M., y A. V. Botello, 1986.** Petróleo y Manglar *In: Serie Medio Ambiente y Desarrollo No. 3.* Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, México DF.
- Garay, J. A., 1986.** Concentración y composición de los hidrocarburos derivados del petróleo en aguas, sedimentos y peces de la Bahía de Cartagena, Colombia. *CIOH, Boletín Científico*, 6: 41-62.
- García, Galocha R., et al., 1998.** Bases para la formulación del plan de manejo ambiental. Litoral de Santo Domingo. Informe Final, Proyecto IPID. Caso de Estudio República Dominicana, (PNUMA)., 162p.
- GEF/PNUD/PNUMA, 1998.** Planificación y Manejo Ambiental de Bahías y Zonas Costeras Fuertemente Contaminadas del Gran Caribe. Proyecto Regional. Informe Final. La Habana, 98 p.
- Getter, C., G. B. Thomas, y B.C. Koons, 1985.** Effects of dispersed oil on mangroves: synthesis of a seven-year study. *Mar. Poll. Bull.*, 16(8):318-324.
- Golik, A., y Y. Gartner, 1992.** Litter on Israeli coastline. *Marine Environmental Research*, 33:1-15.
- González H. et al., 1997.** Estudios que Identifican la Condición Actual de la Bahía de La Habana. Proyecto GEF/RLA/93/G41, Informe Final del Caso de Estudio Cuba, Resultado 1.1. Cimab, 96 p.
- Grigg, J., 1995.** Coral reefs in an urban embayment in Hawaii: A complex case history controlled by natural and anthropogenic stress. *Coral Reefs*, 14: 253-266.
- Hazen P., y D. Sawyer, 1999.** Estudio de Factibilidad para el Emisario Submarino de Cartagena, Colombia. Informe Final. ACUACAR, 1997-1999.
- Heneman, B., 1988.** Persistent Marine Debris in the North Sea, Northwest Atlantic Ocean, Wider Caribbean Region and the West Coast of Baja California. Center of Environmental Education, Washington, DC.
- Hughes, T., 1994.** Catastrophes, phase shifts and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265: 1547-1550.
- Hunter M., y R. Evans, 1995.** Corals reefs in Kaneohe Bay, Hawaii: Two centuries of western influence and two decades of data. *Bulletin of Marine Science*, 57: 501-515.
- IMO, 1991.** Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos. Parte IV Lucha contra los derrames de hidrocarburos. 216 p.
- IMO, 1997.** The Great Caribbean -A very special place. International Maritime Organization, London, 29 p.
- Instituto Nacional de Protección Ambiental (INPA), 2001.** Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas y Areas Costeras en Pequeños Estados Insulares del Caribe". Reporte de la Republica Dominicana, 30 p.
- IOCARIBE, 1997.** Regional Marine Pollution Emergency. Information and training center Wider Caribbean. COI /REMPEITC/Caribbean. 43 p.
- ITOPF, 1996.** An assessment of the risk of oil spills and the state of preparedness in 13 International tanker owners pollution federation limited, 28 p.
- Knapp, A., et al., 1983.** The effects of oil spills and dispersant use on coral reefs. A review and multidisciplinary experimental approach. *Oil and Petrochemical Pollution*, 1(3): 157-169.
- Lang, J., et al., 1998.** Status of coral reefs in the Northern areas of the Wider Caribbean. *In: C. Wilkinson (Ed.) Status of Coral Reefs of the World.* AIMS.
- Lowe, J., et al., 1991.** Fish kills in coastal waters 1980 -1989. NOAA, Rockville, MD, 69 p.

- Mac. Donald, D. D., SL Smith, M. Wong, y P. Mudroch, 1992.** The Development of Canadian Marine Environmental Quality Guidelines. Marine Environmental Quality Series No.1 Ecosystem Sciences and Evaluation Directorate, Conservation and Protection Environmental Canada., 120 p.
- Margalef, R., 1980.** Ecología. Ed. Omega. Barcelona. 951 p.
- NOAA, 1995.** International Mussel Watch Programme. The Initial Implementation Phase. Final Report. Prepared by IMW Project. Woods Hole Oceanographic Institution Coastal Research Centre. 63 p.
- Nollkaemper, A., 1994.** Land-based discharge of marine debris: From local to global regulation. *Marine Pollution Bulletin*, 28(11): 649-652.
- Norma Cubana NC 22, 1999.** Requisitos Higiénico - Sanitarios en lugares de baño en costas y masas de aguas interiores-. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, 11p.
- Palacio F., J. Beltrán, y F. Ruiz, 1998.** Contaminación por Residuos Sólidos y Petrolíferos en Playas del Este. Propuestas de Manejo. Informe Final. CIMAB, 61p.
- Parker, G., 1984.** Hydrology of the pre-drainage system of the everglades in south Florida, p. 28-37. In: P.J. Gleason (Ed.) Environments of south Florida, Present and Past. P.J. Miami Geological Society, Coral Gables, Florida., 178 p.
- PNUMA, 1989.** Evaluación de los impactos económicos del huracán Gilbert sobre los recursos marinos y costeros en Jamaica. Informe Técnico PAC No. 4. Caribbean Programme, 34 p.
- PNUMA, 1994.** Perspectiva regional sobre las fuentes de contaminación de origen terrestre en la Región del Gran Caribe. Informe Técnico del PAC No.33. Caribbean Programme, 61p.
- PNUMA, 1995.** Plan de Manejo Regional para el Manatí Antillano, *Trichechus manatus*. Informe Técnico del PAC. Nº 35. Caribbean Programme, 43 p.
- PNUMA, 1999.** Evaluación sobre las fuentes terrestres y actividades que afectan al Medio Marino. Costero y de Aguas Dulces Asociadas en la Región del Gran Caribe. Informes y Estudios del Programa de Mares Regionales del PNUMA. Nº 172. PNUMA/Oficina de Coordinación del PAM/ Programa Ambiental del Caribe. 135p.
- PNUMA, 2000.** América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente. GEO 2000. 145p.
- Rabalais, N., y D. Scovia, 1999.** Origin, impact and implications of the dead zone in the Gulf of Mexico. *All News Letter*, 20, 43-48.
- Sealey, N., 1992.** The Caribbean World: A Complete Geography. Cambridge University Press., 253 p.
- Senior W., J. Castañeda y G. Martínez, 1998.** Caracterización Ambiental de las Bahías de Barcelona y Bergatín. Informe técnico presentado a CORPOVEN. Inst. Oceanográfico Venezuela. Univ. Oriente. Ven., 215 p.
- Senior, W., y R. Aparicio, 1993.** Estudio Ambiental de las Costas del Estado Anzoátegui (Proyecto EACA). Informe técnico presentado a las empresas CORPOVEN y PEQUIVEN. Inst. Oceanográfico Venezuela Univ. Oriente. Ven., 250 p.
- Senior, W., J. Castañeda, y G. Martínez, 1997.** Caracterización Ambiental de la Bahía de Pozuelos. Informe Técnico. Inst. Oceanográfico Venezuela. Univ. Oriente. Ven., 175p.
- Senior, W., J. Castañeda, y G. Martínez, 1999.** Estudios Oceanográficos y de calidad de las aguas del Oriente de Venezuela. Informe técnico presentado a DAO-PALMAVEN. Inst. Oceanográfico Venezuela Univ. Oriente. Ven., 535p.
- Short, F., 1991.** The national estuarine eutrophication project, p. 25-27. In: K. Hinga, D. Stanley, C. Klein, D. Lucid, and M. J. Katz (Eds.), Workshop Proceedings. Strategic Environmental Assessment Division, National Ocean Service, NOAA, Rockville, 46 p.
- Stoner, A., M. Hixon, y C. Dahlgren, 1999.** Scientific review of the marine reserve. Network Proposed for the Commonwealth of the Bahamas by the Bahamas Department of Fisheries. Northeast Fisheries Science Center, National Marine of Fisheries Service, 99 p.
- Sullivan Sealey K., y G. Bustamante, 1999.** Setting geographic priorities for marine conservation in Latin America and the Caribbean. The Nature Conservancy, 125 p.
- Sullivan Sealey, K., 1998.** Water Quality and Coral Reefs: Temporal and spatial comparisons of changes with coastal development. Univ. of Miami, Florida, 203p.
- Thorgaugh, A., y J. Marcus, 1987.** Preliminary Effects of Seven Dispersants on Subtropical/Tropical Seagrasses, p. 223-224. In: Proc. Oil Spill Conference. American Petroleum Institute, Washington, DC.

- Turner, R. E., y N. N. Rabalais, 1991.** Eutrophication and its effects on the coastal habitats, p. 61-74. *In*: S. H. Bolton (Ed.) Coastal Wetlands Proc. of the Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management, Long Beach, CA American Society of Civil Engineers Press, NY., 8-14.
- Ulloa, G. A., 2000.** Aproximación al estado actual de los manglares del Caribe de Colombia. Proyecto Manglares de Colombia-MINIAMBIENTE.
- UN/DIESA, 1979.** Marine and Coastal Area Development in the Wider Caribbean Region: An Overview. E/CEPAL/PROY. 3/L. INF., 13 p.
- UNEP, 1998.** An Overview of Land-based Sources of Marine Pollution. Technical Report No. 40 UNEP Caribbean Programme., 87p.
- UNEP, 1999.** Global Environment Outlook 2000. Earths and Publications. Ltd. London, 398 p.
- UNEP, 2000.** América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente. GEO 2000, 145 p.
- UNEP, 2002.** Regional Assessment of Persistent Toxic Substances. Central America and Caribbean. Regional Report. Chemicals, Geneva, 133 p.
- UNEP, 2002a.** Global Environment Outlook GEO 3. Earths and Publications. Ltd. London, 398 p.
- UNEP/CEP, 1997.** Coastal Tourism in the Wider Caribbean Region: Impacts and Best Management Practices". CEP Technical Report No. 38. United Nations Environment Programme, Caribbean Environment Programme, Regional Coordinating Unit. Kingston, Jamaica. Disponible en www.cep.unep.org/pubs/techreports/tr38en/
- UNEP/CEP, 1999.** Integrated Coastal Planning and Management in Caribbean Region. Pitot Projects of the Programme with the support of the Swedish International Development Cooperation Agency. Atlantic Coastal of Guatemala. 46p.
- UNEP-GEF, 2003.** Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. Global Report UNEP Chemicals, Switzerland, 207 p.
- UNESCO, 1976.** Guide to Operational Procedures for the IGOSS Pilot Project on Marine Pollution Petroleum. Monitoring Manual and Guides No 7: 32p.
- US Geological Survey (USGS), 1998.** Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan Bay Estuary System, Puerto Rico. Water – Resources Investigations, Report 97-4144. 69 p.
- USEPA Gulf of Mexico Program, 1993a.** Toxic Substances and Pesticides. Action Agenda (3.2) for the Gulf of Mexico. 160 p.
- Valdés, M. et al., 2002.** Aportes Contaminantes a la Bahía de La Habana y su Evolución. Informe Final. Cimab. La Habana, 54p.
- Vásquez-Cortes, J., A. V. Botello, y S. Villanueva, 1987.** Actividades del proyecto CARIPOL en la zona costera de México. Breas y alquitranes en playas. *Caribbean Journal of Science*, 23(1):19-28.
- Villasol, N., M. Alepuz, y J. Beltrán, 1998.** El manejo integrado de las bahías y las zonas costeras de la Región del Gran Caribe, hechos y necesidades. Tropical Marine Ecosystems Management Symposium, Townville, 21 p.
- Wade, T. L., E. L. Atlas, J. M. Brooks, M. C. Kennicutt II, R.G. Fox, J. Sericano, B. García -Romero, y D. De Freitas, 1988.** Trace Organic Contaminant Distribution in Sediments and Oysters Estuaries. *NOAA Gulf of Mexico Status and Trends Program*, 11:171-179.
- Ward, R. E., y N.C. Singh, 1987.** Bacterial pollution monitoring in Castries Harbor, St. Lucia, West Indies. *J. Shoreline Management*, 3: 225-234.
- WCISW, 1996a.** Informe sobre la adecuabilidad de los sistemas de manejo de desechos existentes para manejar los desechos. MARPOL 73/78, OMI. Informe 5. GEF-WB, 56 p.
- WCISW, 1996b.** Estrategia y Plan de Acción para la reducción en la fuente de los desechos generados por buques, su reciclaje y recuperación. MARPOL 73/78, OMI. Informe 4. GEF-WB, 50 p.
- Wong, I., y G. Barrera, 2000.** Al Rescate del Golfo de México. La Contaminación Microbiológica Ediciones. Archivos de Ecología. Instituto de Ciencias del Mar, UNAM.
- Wong, I., G. Barrera, A.V Botello, y L. Lizarraga, 2000.** Density of *Vibrio cholerae* in two coastal lagoons of the Gulf of Mexico". In press (Submitted to *Bull. Environ. Contamination Toxicology*).
- Woodley, et. al., 2001.** Status of Coral Reefs in the Northern Caribbean and Western Atlantic. Report for the GEF/ Project. Coral Reefs in The Caribbean. Centre for Marine Sciences, University of the West Indies, Jamaica, 17p.
- World Conservation Union (IUCN), 1995.** A Global Representative System of Marine Protected Areas. Chapter 7: Marine region: Wider Caribbean. Great Barrier Reef Marine Park Authority, World Bank.

Toledo Ocampo, A., 2005. Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México, p. 25-52. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México. 680 p.

Marco Conceptual: Caracterización Ambiental del Golfo de México

2

Alejandro Toledo Ocampo

El Colegio de Michoacán A.C.

RESUMEN

Se destaca el valor ecológico y socioeconómico del Golfo de México. Se describen los principales procesos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrodinámicos e hidroquímicos de la región. Se analiza el valor ecológico y el papel que desempeñan los principales ecosistemas costeros como son las lagunas costeras, humedales, manglares, pastos marinos y arrecifes de coral, así como su vínculo con la productividad natural y pesquera. Se analizan las principales fuentes de contaminación e impacto ambiental para los ecosistemas costero-marino del Golfo de México y se señala la necesidad de afrontar científica y tecnológicamente este problema a través de un manejo integral y sostenible de los ecosistemas y sus recursos.

ABSTRACT

Emphasis is made on the ecological and socio-economic value of the Gulf of Mexico. The main geological, geomorphological, climatic, hydrodynamic and hydrochemical processes are described for the region. Ecological value is analyzed as well as the role of the most important coastal ecosystems such as coastal lagoons, wetlands, mangroves, seagrasses and coral reefs and the connection with natural and fisheries productivity. Main sources of pollution and environmental impact are analyzed for coastal marine ecosystems of the Gulf of Mexico and the need to confront these problems with science and technology through integrated and sustainable management ecosystem and its resources.

EL GOLFO DE MÉXICO: UNA FUENTE DE ENERGÍA DEL ATLÁNTICO TROPICAL

El Golfo de México es un sistema ambiental de los más diversos y ricos de la tierra. Por sus dimensiones y características de cuenca semicerrada, es el gran mar interior del Atlántico tropical y un verdadero mediterráneo entre las Américas del norte y del sur (Carson, 1980). Pocas zonas del planeta pueden ofrecer, a distancias relativamente cortas, la gran diversidad de ambientes costeros templados, subtropicales y tropicales que aquí encuentran sus confluencias. A lo largo de 4,000 km de litoral, entre las penínsulas de la Florida y de Yucatán: cayos, islas de barrera, dunas, playas arenosas, ríos, deltas, bahías, estuarios, lagunas costeras, humedales, manglares, arrecifes, bancos carbonatados y aguas oceánicas integran una compleja combinación de habitats. En una cuenca de tan solo 1.6×10^6 de km^2 , que almacena cerca de 2.3×10^6 km^3 de agua,

se suceden una serie de procesos físicos, químicos y biológicos (corrientes oceánicas, anillos ciclónicos y anticiclónicos, tormentas tropicales, huracanes, nortes, surgencias, y cascadas), que hacen del Golfo de México un inmenso almacén de energía del sistema océano-atmósfera (Elliot, 1982; Etter, 1983; Lewis y Hsu, 1992; Fernández *et al.*, 1993). Su singularidad ecológica y económica, convierten al Golfo de México en la mayor y más importante cuenca de aguas protegidas de la América Neotropical (Sackett, 1981; Britton y Morton, 1989) (Fig. 1).

Geológicamente, el Golfo de México es una provincia distributiva integrada por un área sedimentaria del orden de 5.40×10^6 km^2 , incluye 159,980 km de ríos entre los que sobresalen los dos mayores sistemas fluviales

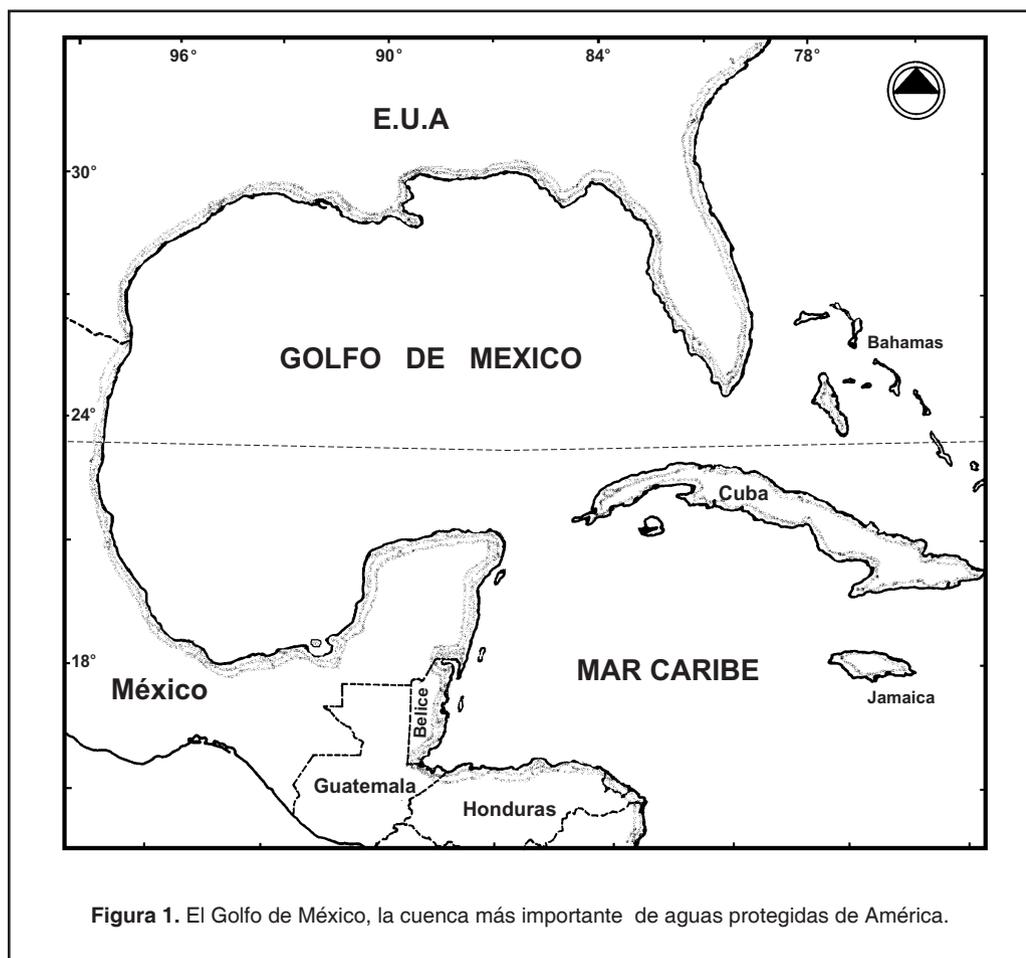


Figura 1. El Golfo de México, la cuenca más importante de aguas protegidas de América.

de Norteamérica: Mississippi, en los Estados Unidos; y Grijalva-Usumacinta en México; y un área deposicional (el Golfo de México) de $1.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, el 36% del área total de la provincia es agua y el 64% lo constituyen formaciones rocosas continentales, situadas por encima del nivel del mar (Moody, 1967). Localizada en la parte central y meridional de Norteamérica, esta provincia comprende parte de 5 países: Canadá, Estados Unidos, México, Guatemala y Cuba (Fig. 2). La región recibe más de las dos terceras partes de las depositaciones de la masa continental de los Estados Unidos a causa, principalmente, de la gran extensión de las cuencas de drenaje del sistema Mississippi-Alchafalaya, de los ríos de Texas

y el río Grande, que en conjunto constituyen el 75% del área de drenaje de la provincia. Aunque de recorridos de mas cortos los sistemas fluviales del territorio mexicano-guatemalteco (11% del total del sistema distributivo de la provincia), poseen un poderoso dinamismo originado por la cercanía de las cordilleras montañosas que por el oriente atraviesan al territorio mexicano, así como por la magnitud de las precipitaciones pluviales que oscilan entre los 1,250 y 2,500 mm al año. Donde las montañas se alejan de la costa, los ríos adquieren un gran potencial para el acarreo de sedimentos y materia, así como para la formación de planicies aluviales. Comparativamente esta capacidad de formación de tierras aluviales costeras

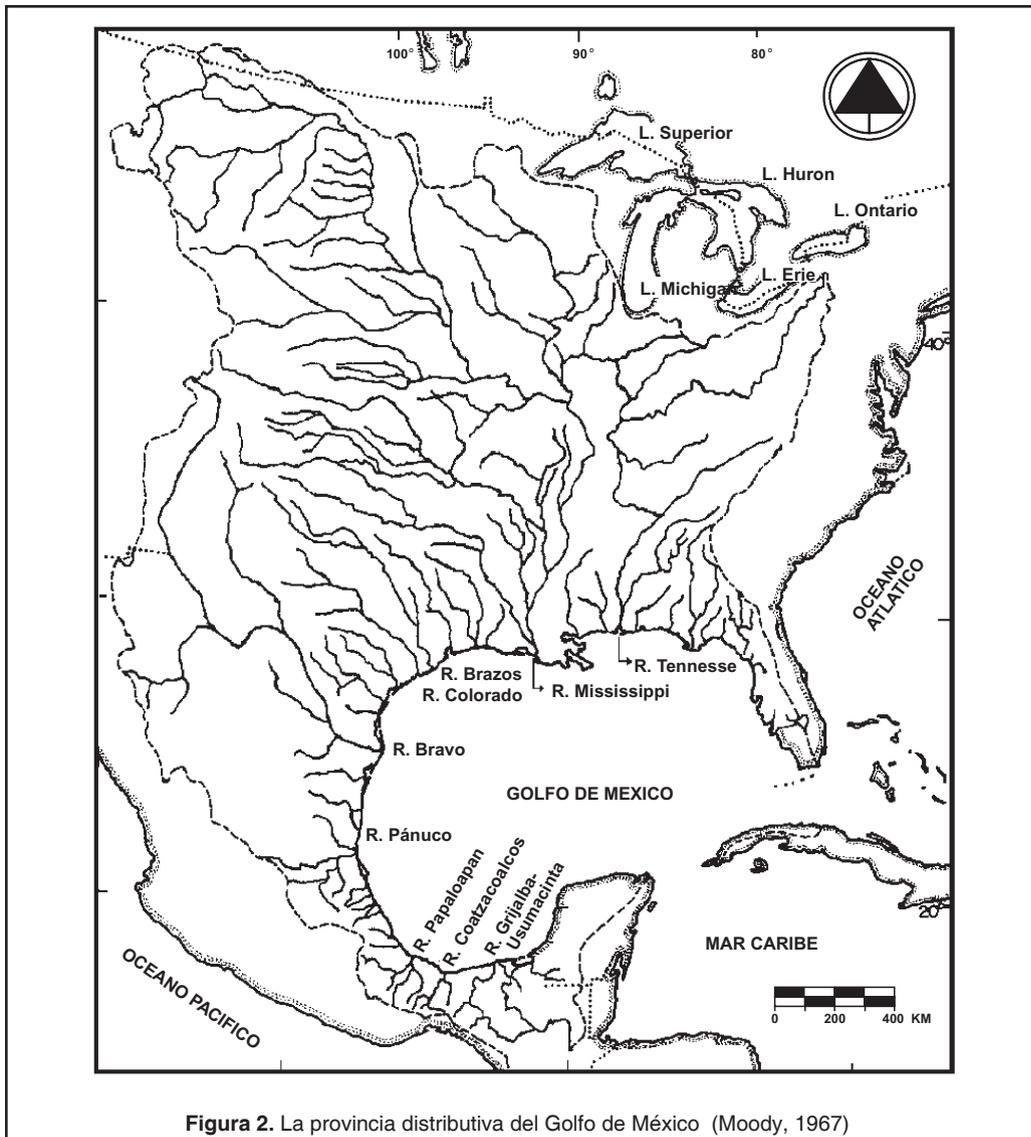


Figura 2. La provincia distributiva del Golfo de México (Moody, 1967)

de selvas y pantanos guatemaltecos y mexicanos del área de drenaje del sistema Grijalva-Usumacinta es 6 veces mayor que la del sistema Mississippi y más de 10 veces mayor que la del río Grande (Moody, 1967). El sistema Grijalva-Usumacinta junto con el Papaloapan, aportan el 55% de las descargas fluviales en la vertiente atlántica de México (Bassols, 1977). Incluida la parte correspondiente a Guatemala, estos ríos de México representan el 18% del área total de derivación de la provincia. A Cuba le corresponde el restante 7%. En total, 38 sistemas fluviales descargan alrededor de 31.6×10^6 kgs⁻¹ de agua dulce al Golfo, acarrean 775 millones de toneladas de detritos y alrededor de 208 millones de toneladas de materiales disueltos. Constituyen también las rutas de distribución de una amplia gama de desechos tóxicos que contaminan y ponen en peligro a sus valiosos y frágiles habitats críticos.

Sin embargo, las descargas de los ríos no compensan la pérdida neta de agua causada por el exceso de evaporación sobre la precipitación, estimado en 127 cm al año. Si se considera a la densidad del agua dulce de los ríos como de 1 g cm^{-3} , el valor de las descargas anuales corresponde a 62 cm de agua al año. Lo que arroja un déficit de 65 cm al año. Volumen que equivale aproximadamente a $34 \times 10^6 \text{ kg}^{-6}$ (Etter, 1983).

Estructuralmente y como área de deposición, el Golfo de México se divide en siete provincias geológicas: la Cuenca del Golfo, la Plataforma Carbonatada del Golfo Nororiental; la Plataforma de Yucatán y en la Sonda de Campeche; la Zona Ístmica; la Plataforma Oriental Mexicana y la Plataforma Noroccidental del Golfo (Antoine, 1972). Los procesos geológicos que determinan la distribución y el transporte de sedimentos se encuentran estrechamente vinculados con las corrientes y descargas fluviales (especialmente los ríos Mississippi, Pánuco, Papaloapan, y Grijalva-Usumacinta), y con las corrientes de turbiedad asociadas a los cañones submarinos, principalmente el De Soto y el de Campeche (Bruma, 1972).

Las costas del Golfo de México han sido clasificadas por Carranza *et al.* (1975) en cuatro grandes unidades morfotectónicas continentales. La primera de ellas comprende: una ex-

tensión de 700 km, desde la desembocadura del río Bravo hasta Punta Delgada, Veracruz. Se trata de una costa de mar marginal. La segunda cubre 300 km y se extiende desde Punta Delgada hasta la desembocadura del río Coatzacoalcos, Veracruz. También se trata de una costa de mar marginal con deposiciones subaéreas que forman dunas y cuyas porciones secundarias están constituidas por algunas formaciones arrecifales. La tercera se localiza entre el delta del río Coatzacoalcos y la porción oriental de la laguna de Términos Campeche. Tiene una extensión de 179 km y se caracteriza por la presencia de deltas como los del río Tonalá, el Grijalva-Mezcalapa, el San Pedro y el San Pablo. La cuarta y última unidad comprende 1,100 km, desde Isla Aguada, Campeche, hasta Chetumal, Quintana Roo. Al igual que las anteriores, es una costa de mar marginal que presenta numerosos cañones y sumideros, con depositaciones marinas que originan playas e islas de barrera que dan lugar a las principales formaciones arrecifales de México.

La plataforma continental es una de las mayores morfoestructuras del piso oceánico del Golfo de México. Se trata de una terraza casi continua que bordea sus márgenes y que se encuentra geológica y fisiográficamente vinculada con la masa continental. Es amplia frente a las planicies costeras y relativamente estrecha a la altura de los sistemas montañosos que corren paralelos a la costa. Está constituida por numerosas depresiones, lomeríos, montañas, bancos coralinos, escarpes y por algunos cañones submarinos. Frente a las costas occidentales de Florida, alcanza extensiones de 180 km; frente a Louisiana-Texas, de 160 km; y hacia el territorio mexicano gradualmente se va estrechando. Alcanza 80 km frente a la desembocadura del río Bravo; 45 km frente a Tampico y a la altura de la zona volcánica de los Tuxtlas, Veracruz, experimenta su máximo estrechamiento, de 6 a 16 km. A partir de allí nuevamente empieza a ampliarse hasta alcanzar 130 km frente a la Isla del Carmen; 170 km frente a Campeche y unos 260 km en el extremo norte de la península de Yucatán (Linch, 1954, Lugo, 1985).

Entre los rasgos geomorfológicos más relevantes del Golfo de México se encuentran la extensión de sus plataformas carbonata-

das. Al oeste de la península de la Florida y en la Sonda de Campeche, adquieren dimensiones que las convierten en lugares apropiados para el estudio de la naturaleza, el origen y la distribución de los sedimentos carbonatados biogénicos, las arenas limosas carbonatadas y los sedimentos lodosos, que predominan en gran parte del piso del Golfo de México; así mismo para estudiar la interrelación entre sedimentos carbonatados y terrígenos; por la enorme variedad de ambientes que allí existen (Bourma, 1972). Junto con la plataforma noroccidental de Cuba, la vasta plataforma terrígena Noroccidental frente a las costas de Louisiana y Texas y la estrecha plataforma terrígena frente a Veracruz, constituyen los ambientes que permiten la creación de las mayores formaciones arrecifales del Golfo. Sobresalen por su importancia los complejos arrecifales de la plataforma Noroccidental de Cuba; los de Dry Tortugas y Rebecca, en Florida; los de West Flower Gardens y East Flower Gardens, en Texas-Louisiana; los de Blanquilla, en Islas de Lobos y de Enmedio, en el área de Tampico-Tuxpan; la Gallega, la Galleguita, Anegada de Adentro, Isla Verde, Pájaros y Sacrificio, en el área de Veracruz; las Choapas, Enmedio, Anegada de Afuera, Cabezo y Rizo, en las cercanías de Antón Lizardo; y los de Arcas, Obispo, Triángulos, Banco Nuevo, Inglés, Arenas y Alacrán, en la plataforma de Campeche (Logan, 1969; Rezak y Serpell, 1972; Wells, 1978).

Siete principales masas de agua se ha identificado en el Golfo (Fig. 3): Agua Común del Golfo, Agua Subtropical Subyacente, Agua de los 18°C del Mar de los Sargazos, Agua Central del Atlántico Tropical, Agua Antártica Intermedia, Agua Profunda del Antártico Norte y Mezcla de Agua Intermedia del Caribe con Agua Profunda del Antártico Norte. Las Cuatro primeras constituyen la capa cálida superior (0-500 m) y las tres restantes integran la capa fría inferior (500-3,650 m) (Vidal *et al.*, 1990).

En el Golfo Oriental, las capas superficiales a profundidades entre los 150 y 250 m, presentan salinidades máximas entre 36.7 y 36.8‰, debido a la presencia de las Aguas Subtropicales Subyacentes transportadas del Caribe por la Corriente del Lazo. Estas salinidades, caracterizan a las aguas de la Corriente del Lazo, por lo que suelen llamarse “aguas del Lazo”, “aguas Caribeñas”, o “aguas de Yucatán”. En cambio, en el Golfo Occidental las capas por encima de los 250 m presentan salinidades entre 36.4 y 36.5‰. A profundidades superiores a los 600 m, las aguas del Golfo tienen características de temperaturas y salinidad muy bien definidas. Entre los 700 y los 800 m se presentan temperaturas alrededor de los 5°C y salinidades mínimas de 34.88‰, que demuestran la presencia de las Aguas Antárticas Intermedias. Por debajo de los 1,000 m las aguas manifiestan su estabilidad en las temperaturas, alrededor de los 5°C mientras que las concentraciones de sali-

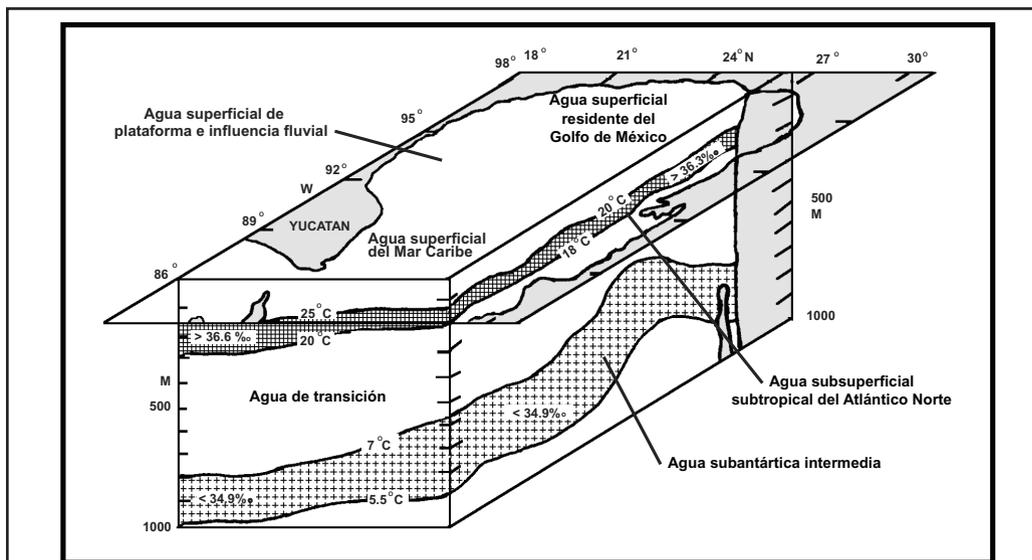


Figura 3. Masas de agua del Golfo de México (Fernández-Eguiarte *et al.*, 1990).

nidad son prácticamente isohalinas: 34.97‰, lo que revela la presencia de las capas superiores de las Aguas profundas del Atlántico del Norte (Morrison *et al.*, 1983).

La corriente del Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos asociados constituyen los mecanismos primarios que movilizan, distribuyen y dispersan las masas de agua en el Golfo de México (Elliot, 1982; Forristall *et al.*, 1992). Estos flujos juegan un papel decisivo en la circulación, en la renovación y en los balances térmicos y salinos de sus masas de agua superficiales; en la climatología y en la hidrografía de una vasta porción de sus regiones oriental central y occidental; en la dinámica de los procesos costeros; en la generación de las tormentas tropicales que se desarrollan con gran frecuencia en su extremo noroccidental; y en las pesquerías de sus sistemas estuáricos. En suma, estos factores hacen del Golfo de México un gran almacén de energía calórica, crítico no solo para los balances térmicos de la cuenca, sino aún del Atlántico del Norte (Leipper, 1954; Nowlin, 1972; Nowlin y Huberts, 1972; Morrison y Nowlin, 1977; Cifuentes, *et al.*,

1986; Jonson, *et al.*, 1992; Lewis *et al.*, 1985; Lewis *et al.*, 1989; Vidal *et al.*, 1990; Vidal *et al.*, 1992; Lewis y Hsu, 1992; Hamilton, 1992; Fernández, *et al.*, 1993) (Fig. 4).

El más prominente de estos flujos marinos, la Corriente del Lazo, transporta del Caribe hacia el Golfo Oriental entre los estrechos de Yucatán y de Florida, volúmenes de aguas estimados entre 29-33 Sv ($1\text{Sv} = 106\text{m}^3\text{s}^{-1}$), en tanto que los anillos ciclónicos y anticiclónicos que se desprenden de esta corriente movilizan hacia la región occidental (norte, centro y sur) del Golfo, volúmenes estimados entre 8-10 Sv (Elliot, 1982; Hofmann y Worley, 1986; Vidal *et al.*, 1992).

Cuando la corriente del lazo penetra la región oriental del Golfo a la altura de los 27°N, se crean inestabilidades que terminan por formar anillos ciclónicos y anticiclónicos que se desprenden de la corriente y viajan comúnmente hacia el occidente, atravesando la región central y de aguas profundas del Golfo de México, hasta chocar con la pendiente de la plataforma continental, al Este de Tamaulipas. En esta

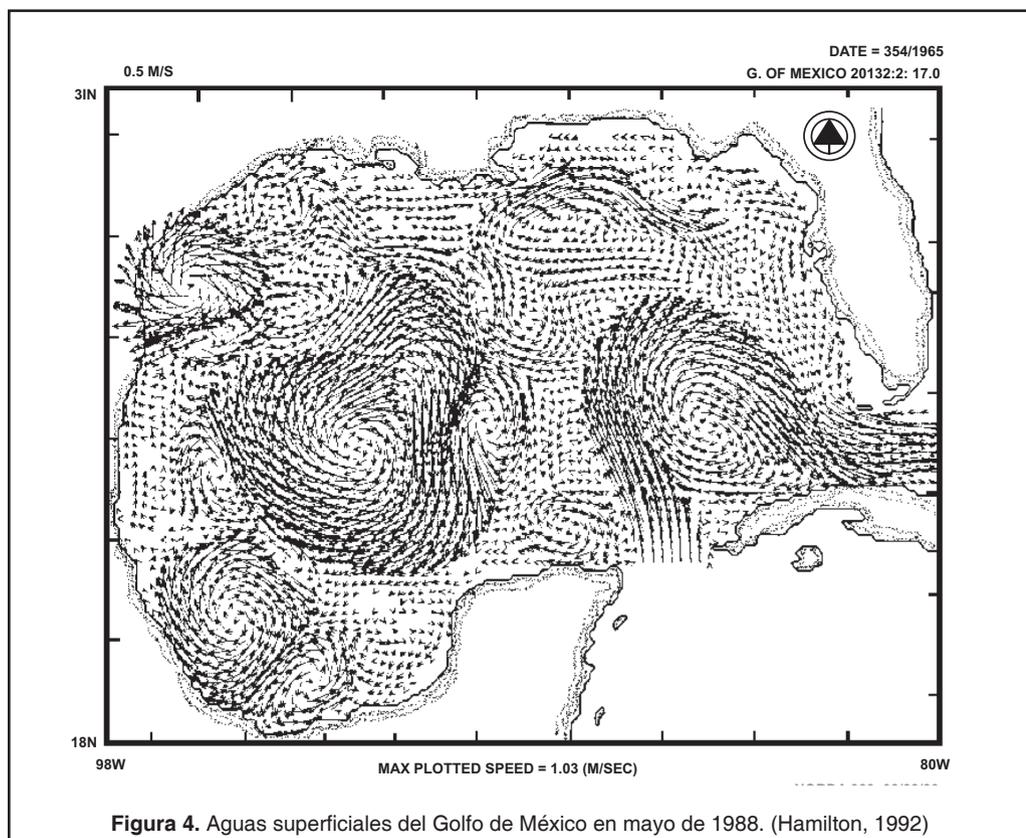


Figura 4. Aguas superficiales del Golfo de México en mayo de 1988. (Hamilton, 1992)

zona de colisión, la circulación superficial se divide, una parte corre hacia el Norte y otra hacia el Sur, en paralelo a la costa occidental del golfo. El primero de estos flujos transporta hacia el Norte, volúmenes estimados en 11 Sv; y el segundo, dirige hacia el Sur, volúmenes estimados en 7 Sv, a lo largo de la plataforma continental. Entre ambos, movilizan flujos combinados de 18 Sv. Esto es: más del 60% de los volúmenes que se que ingresan al Golfo de México, a través de la Corriente del Lazo (Vidal *et al.*, 1992).

Estos flujos, que duran generalmente de 6-8 meses (el tiempo total que les lleva cruzar el Golfo de México) persisten 35 meses más después de interactuar con la batimetría de la plataforma occidental del Golfo (mexicana y estadounidense). Esta actividad confirma que la alta dinámica de la circulación en el golfo occidental es el resultado de procesos generados por la Corriente del Lazo (Lewis y Kirwan, 1985 y 1987; Vidal *et al.*, 1985 y 1992).

De especial importancia para la circulación de las aguas superficiales del Golfo de México, es la alta frecuencia de los anillos de la Corriente del Lazo (3-4/año). El tamaño de estos anillos (con radios aproximados de 150 km), la velocidad de sus desplazamientos (5,075 cm/seg), la frecuencia de su separación (más de 3 al año) y la complejidad de sus interacciones, entre ellos y la plataforma continental, los convierten en los principales responsables del transporte de las aguas cálidas y salinas caribeñas hacia el interior del Golfo (Etter, 1983; Lewis *et al.*, 1989; Hamilton, 1990).

Otro factor importante para la circulación de las aguas superficiales del Golfo es la presencia durante el otoño y el invierno, de masas de aire polar y rachas violentas y huracanadas de dirección boreal conocida como "nortes", que afectan sobre todo al noroeste del Golfo. En esta época, los nortes se combinan con los anillos ciclónicos y anticiclónicos, para convertirse en los procesos primarios que dominan la circulación superficial de la región noroccidental del Golfo (Cochrane y Kelly, 1986). Cuando estos aires fríos y secos pasan sobre el Golfo, el calor de las capas superficiales se transfiere hacia arriba y es acarreada hacia la atmósfera por la turbulencia del aire. Se ha demostrado que estos procesos pueden exceder

a las 1,000 cal cm⁻²d⁻¹ (Huh *et al.*, 1978). La corriente del Lazo y sus anillos anticiclónicos se transforman así en una enorme y consolidada fuente de calor de la cual las tormentas tropicales extraen una gran parte de su energía (Lewis y Hsu, 1992). Lo que convierte al Golfo de México en un mecanismo de transferencia de energía en el sistema océano-atmósfera (Fernández *et al.*, 1993). El estrés ejercido por estos vientos sobre las aguas superficiales produce la mezcla de las capas superiores, y la dilución de las aguas cálidas y salinas caribeñas acarreadas por los anillos de las Corrientes del Lazo hasta convertirse en agua común del Golfo (Vidal *et al.*, 1992).

En el verano, el calentamiento de las aguas superficiales alcanza sus niveles máximos. El campo de la temperatura superficial muestra un gradiente latitudinal. En esta época las aguas del Norte alcanzan temperaturas superiores a los 28°C, casi la mismas de la parte central o suroriental, que alcanzan los 29.7°C y 28.9°C, respectivamente. Esta uniformidad en el comportamiento de la temperatura también se presenta en los niveles de salinidad, que oscilan entre 36‰ y 36.7‰ (De la Lanza, 1991).

En el invierno, en la región Noroccidental estadounidense, la temperatura de las aguas superficiales descienden hasta los 19°C y a partir de este mínimo, localizado solo en esta área, asciende hasta alcanzar los 27°C de la plataforma de Yucatán. El campo de la salinidad superficial guarda un comportamiento similar al de la temperatura. En la misma época presenta oscilaciones entre un mínimo de 31.07‰, en el norte, hasta un máximo de 36.68‰ en el Banco de Campeche.

En la región noroccidental del Golfo la capa de mínimo oxígeno se denota por una concentración de 2.0 ml/l entre los 200 y 600 m de profundidad. En la región del sur, el mínimo de oxígeno es de 2.4 ml/l, a partir de los 200 m es afectado por los giro anticiclónicos. En la plataforma de Yucatán se registra un ligero aumento en el contenido de la capa de mínimo oxígeno, resultado de la dinámica de la Corriente de Yucatán. En esta zona se detectan surgencias de aguas ricas en nutrientes (Fernández *et al.*, 1992).

De la información generada hasta ahora, puede concluirse que al menos una parte de las aguas oceánicas del Golfo de México son áreas oligotróficas y biológicamente pobres. Las cuantificaciones realizadas de clorofila, nitratos, productividad primaria y fosfatos en los centros de la Corriente del Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos (más del 50% del área total del golfo, durante más de 6 meses del año) confirman esta situación. Las aguas superficiales de los centros de los anillos, a profundidades de más de 100 m muestran bajos niveles de nitratos y los stocks de clorofila son igualmente bajos (20 mg/m), la productividad primaria tiene registros de ($0.4 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$). Los niveles de la biomasa zooplanctónica son de 4 ml por cada 100 m^3 durante la noche en la capa superior, a los 200 m. Lo que revela las cifras, en general, extremadamente pobres (Biggs, 1992).

Sin embargo en algunas regiones, como en las plumas de los ríos Mississippi y Grijalva-Usumacinta, en la plataforma de Louisiana-Texas y en la plataforma de Yucatán así como en las fronteras de la Corriente del Lazo y de sus anillos anticiclónicos, se presentan elevadas concentraciones de nutrientes y la biomasa fitoplanctónica es muy alta. Por ejemplo, en las costa de Louisiana-Texas y en el sureste de México, se han reportado productividades primarias de $250\text{-}500 \text{ mgCm}^{-2}\text{d}^{-1}$. En estas zonas se producen fenómenos de surgencias y cascadas (Bogdanov, *et al.*, 1968; Pimentel y Estrada, 1986; López *et al.*, 1986).

La distribución de las larvas de algunas de las pesquerías más importantes del Golfo, como las del atún de aleta azul *Tunnus tynnus* ha sido asociada con los bordes de la Corriente del Lazo. La frontera de la Corriente del Lazo es en efecto, una zona dinámica, con meandros y fuertes convergencias y divergencias, que puede concentrar organismos planctónicos incluyendo huevecillos y larvas (Richards *et al.*, 1989). En esta área, Richards y sus colaboradores registraron el desplazamiento de altos volúmenes de plancton con promedios de $87 \text{ ml} \times 1.000 \text{ m}^3$ y altas densidades de larvas con promedios de $458 \text{ ml} \times 1.000 \text{ m}^3$.

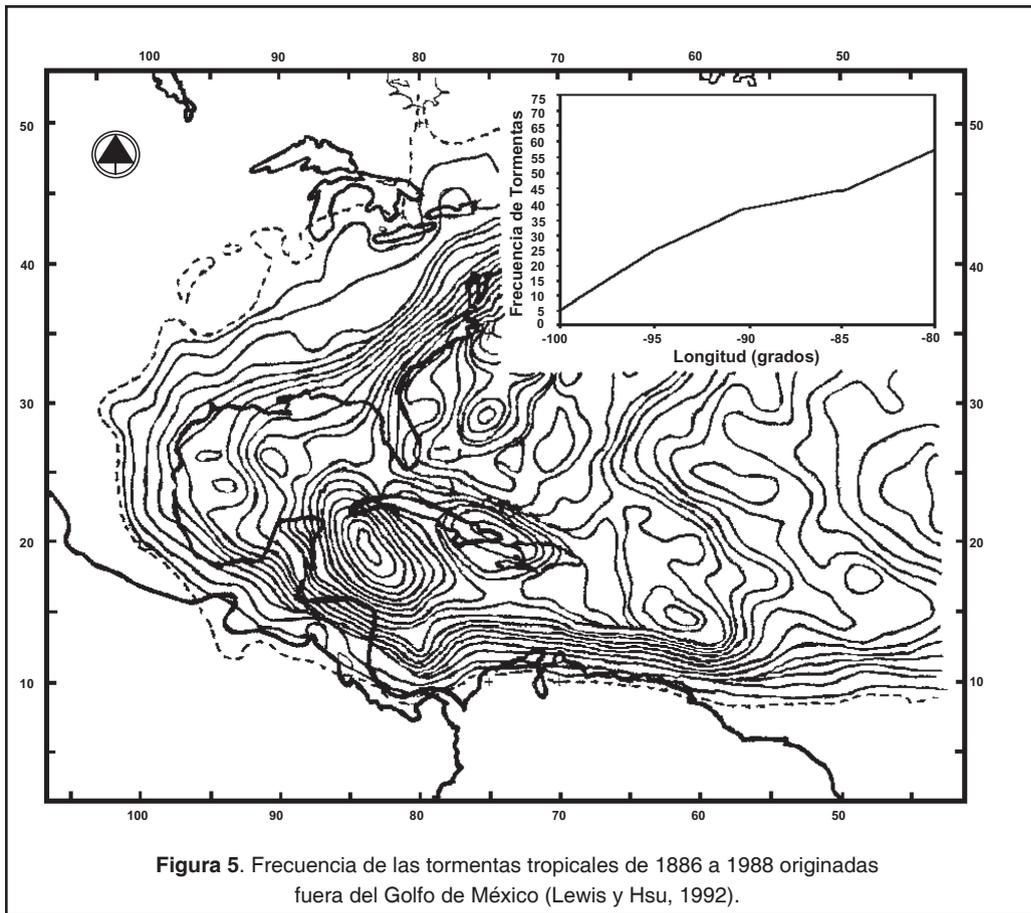
Un complejo y variado gradiente climático, que abarca seis mayores tipos climáticos de la tierra, se despliega entre las regiones frías, de-

sérticas, templadas y calido-húmedas del continente y sus costas. Atraviesa las áreas transicionales subtropicales de Estados Unidos y México, llega a las regiones tropicales lluviosas del Sureste mexicano y culmina con las de clima seco de la península de Yucatán.

Durante el invierno la circulación de los vientos es primariamente anticiclónica, con velocidades intensas. Mientras los vientos alisios soplan por el Sur-Este, fuertes vientos "nortes" circulan por el occidente influidos por masas continentales de aire polar. De 20 a 30 nortes se manifiestan en el invierno y algunos de ellos llegan a alcanzar velocidades de 40 km por hora (NOAA, 1983).

La región es una de las zonas generadoras de huracanes del Atlántico Tropical (Fig. 5). Estos fuertes vientos que sobre pasan los 120 km/h y ocasionan lluvias superiores a los 1,000 mm, parten del Caribe y de la sonda de Campeche, para hacer del Golfo de México una zona de alto riesgo para la navegación y para las actividades humanas.

Salvo en las zonas de las plataformas de Florida y Texas-Louisiana, donde las mareas son mixtas, prácticamente en todas las otras áreas del Golfo de México prevalecen las mareas diurnas. En la sonda de Campeche se reportan mareas semidiurnas (Zetler y Hansen, 1972). Relativamente tranquilo en comparación con otras áreas del continente americano, el golfo recibe la influencia de estas mareas cuyas oscilaciones no son mayores de 30 a 60 cm (Marmer, 1954). Este rango relativamente pequeño, ejerce efectos decisivos sobre ambientes críticos del litoral. A lo largo de la línea costera del Golfo de México, existen numerosas bahías, estuarios y humedales que no tienen una conexión directa con el mar, sino a través de canales activados por el movimiento de las mareas. Diariamente las mareas permiten el flujo y el reflujos de masas de aguas, de nutrientes y materiales desde los humedales y los manglares que bordean estos cuerpos de agua, hacia el golfo y viceversa. Estos movimientos, hacen posible la migración de una multitud de seres vivos hacia zonas de alimentación, crianza o refugio. Gracias a esta función de las mareas, una verdadera multitud de especies vegetales y animales cumplen su función dentro del complejo sistema que es el



Golfo de México (Hitchcock, 1972). La intensidad de la acción erosiva de los vientos, las olas, las mareas y las corrientes sobre la línea costera depende enteramente del tipo de costa. Aquellas formadas por rocas ígneas son notablemente más resistentes que las constituidas por rocas sedimentarias. Las playas arenosas son altamente sensibles. Mientras que las bahías y los estuarios se protegen mejor de sus efectos. La dinámica de estos procesos resulta importante para la construcción, el mantenimiento y, a menudo, la destrucción de bancos arenosos, islas de barrera y penínsulas que bordean al Golfo de México. En la mayoría de estos habitats la explosión a los vientos, olas, mareas y corrientes juega un papel de enorme importancia en la distribución y zonación de su biota (Britton y Morton, 1989). Entre las islas de barrera y la tierra firme, existen pantanos intermareales, estuarios, bahías y manglares. Estos habitats son críticos para una multitud de formas de vida animal y vegetal incluyendo peces y crustáceos de importancia comercial.

Así, procesos geológicos, climáticos, deposiciones aluviales y eólicas, corrientes, olas y mareas, hacen del Golfo de México, un laboratorio natural para el estudio de la vida de las regiones costeras, y marinas subtropicales y tropicales. Se trata de un ecosistema sometido a dos tipos de cambio: los geológicos y climáticos, que a menudo se remontan a millones de años; y los de naturaleza antropogénica que solo requieren de algunos años, y aún de días para producir sus efectos muchas veces devastadores e irreversibles.

La Economía Biológica del Golfo

La riqueza biótica del Golfo de México esta determinada por la amplitud de su plataforma continental (al Sur y al Oeste de la Florida, frente a Louisiana-Texas y en la sonda de Campeche tiene más de 150 km); las enormes descargas de algunos de sus sistemas

fluviales (sobre todo en los ríos Mississippi y Grijalva-Usumacinta): los movimientos de sus masas de agua (cuyos desplazamientos ondulatorios y verticales permiten la formación de amplias zonas de surgencias); la calidez de sus aguas superficiales (cuya estabilidad superior a los 20°C prácticamente todo el año es extremadamente importante para las especies que la habitan: la mayoría de los peces de valor alimenticio y pesquero viven entre los 20 y 50 m de profundidad); las condiciones particularmente favorables de luminosidad para la vida marina (su zona eutrófica abarca hasta el fondo de sus productivas plataformas carbonatadas); la estabilidad de sus salinidades superficiales; el comportamiento de oxígeno disuelto y la densidad de sus masas de agua; así como por la distribución de sus nutrientes, particularmente los fosfatos. La conjunción de estos factores, hacen del Golfo de México una de las mayores fuentes de energía y una de las regiones biológicamente más productivas del Atlántico tropical.

Sus elevados niveles de productividad fitoplanctonica (250-500 mg C m²/d) y su abundancia de zooplancton (50-200 mg/m³), sos-

tienen a una diversa vida marina (Koper, 1983; CECODES- SEPESCA, 1981). Aunque la parte central del Golfo es relativamente pobre en plancton (30-100 mg/m³), existen zonas de alta productividad como la plataforma de Florida, las costas de Louisiana Texas, y la Península de Yucatán, cuyos niveles oscilan entre 200 y 3,000 mg/m³ (Bogdanov *et al.*, 1968).

Sistemas Estuarino-lagunares

Una compleja combinación de procesos geológicos, depositaciones fluviales, mezclas de aguas dulces y salinas, elevadas concentraciones de nutrientes, mareas y corrientes hacen del Golfo de México una de las zonas estuarinas más importantes de la tierra (Phleger, 1969). Más del 50% de los litorales del golfo están bordeados por estuarios, bahías y lagunas costeras (Fig. 6). Los 207 estuarios primarios, secundarios y terciarios identificados a lo largo de las costas estadounidenses, representan la mayor extensión de estos hábitats que posee este país, si se exceptúa a Alaska. Louisiana posee el 43% de estos sistemas naturales;



Florida, el 26%; Texas, el 19%; Mississippi, el 6% y Alabama, el 6% (Thayer y Ustach, 1980; Geyer y Giammona, 1985). De estos, 27 grandes sistemas estuarinos situados en el Golfo de México figuran como áreas de importancia crítica dentro del inventario nacional de los Estados Unidos (NOAA, 1985). México posee 24 grandes sistemas lagunares-estuarinos entre su frontera con los Estados Unidos y Yucatán. Tamaulipas cuenta con el 41%, de esta superficie estuarino-lagunar (231,200 ha); Veracruz, con el 19% (116,600 ha); Tabasco, con el 3% (24,800 ha) y Campeche, con el 37% (196,000 ha) (Contreras y Zabalegui, 1988).

Los sistemas lagunares, son energéticamente abiertos y altamente subsidiados por los ambientes adyacentes (terrestres, marinos y atmosféricos) con ciclos geoquímicos complejos, con una alta productividad potencial y un gran número de utilidades humanas. Su papel como áreas de refugio alimentación y reproducción de por lo menos el 50% de las especies que constituyen las pesquerías litorales los han convertido en un objetivo central de la investigación científica en el Golfo de México. En torno de ellos se ha generado la mayoría de la literatura producida por las ciencias marinas y costeras de México en las últimas décadas (Ayala-Castañares y Phleger, 1969; Yáñez-Arancibia y Day, 1988; Contreras, 1988).

La productividad primaria neta de los ecosistemas lagunares-estuarinos se ha estimado entre 500 y 4,000 gC peso seco/m²/año (Yáñez-Arancibia, 1986). Su alta diversidad de factores ambientales, hábitats, conexiones internas e interacciones con los ecosistemas adyacentes; así como sus complejas tramas tróficas, dotan a estos ecosistemas de una elevada riqueza florística y faunística. Hábitats de alta sedimentación, ambientes de bajas salinidades, salobres y salinos, permiten la proliferación de una flora diversa y abundante que en los estuarios, lagunas y ríos estadounidenses está dominada por *Spartina alterniflora*, *Juncos roemerianus*, *Spartina patens*, *Phragmites communis*, *Distichlis spicata*, y *Typha* sp; mientras que en las riberas y áreas adyacentes de lagunas costeras mexicanas abundan los bosques de manglar (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*); y son comunes las vegetaciones palustres constituidas por *Typhalatifolia*, *Phragmites* sp., y *Echinohloa*

sp. Completan esta biomasa vegetal especies libre-flotadoras, como *Eichornia crassipes*, y *Pistia stratiotes*; enraizadas sumergidas como *Vallisneria americana*, *Najas guadalupensis* y *Potamogeton illinoensis*; enraizadas en hojas flotantes como: *Nymphaea ampla* y *Nelumbo lutea*, además de las extensas praderas de pastos marinos (*Halodule beaudettei*, *H. wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Thalassia testudinum* y *Ruppia maritima*) que se extiende desde los pantanos de mareas, lagunas costeras y los estuarios, hasta los bordes externos de la plataforma continental, especialmente en el área de laguna de Términos, en las zonas arrecifales de Veracruz y en los grandes sistemas costero-lagunares de Tamaulipas (Vera-Herrera *et al.*, 1988; De la Lanza y Tovilla, 1986).

Se estima en más de 300 especies la ictiofauna que habita temporal o permanentemente los estuarios mexicanos, de los cuales más del 50% son eurihalinas del componente marino, alrededor del 25% son estenohalinas marinas y el resto son temporales y permanentes estuarinas (Reséndez-Medina y Kobelkowsky-Díaz, 1991). El elevado potencial productivo de los estuarios de la región, se calcula en 6 a 36 kg/ha/año (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985). Entre los estuarios y las lagunas costeras mexicanas sobresalen por su elevada riqueza faunística: laguna Madre con 78 especies; Tamiahua, con 105; Tuxpan-Tampamachoco, con 99, Alvarado con 89; Sontecomapan, con 98; y sobretodo laguna de Términos, con 122 (Bozada y Morales, inédito; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988, Fuentes, 1991, Kobelkowsky-Díaz, 1991; Reséndez-Medina y Kobelkowsky-Díaz, 1991).

Entre las especies de peces más comunes en las lagunas costeras mexicanas se encuentran: el bagre boca chica (*Ariopsis felis*) el bagre prieto *Cathrops melanopus*, el robalo *Centropomus paralielus*. El sargo *Anchrosargus probatocephalus*, la lebrancha (*Mugil curema*), las mojarras (*Eucinostomus gula*, *Eugeris plumieri* y *Diapterus rhombeus*), el ronco (*Bairdiella ronchus*), la corbina o gurrubata (*Bairdiella chrysoura*). Por cuanto se refiere a los moluscos, se ha identificado 71 especies de Tamiahua; 174, en la Laguna de Términos, y 95 en los sistemas lagunares tabasqueños.

Entre los moluscos bivalvos habitantes del piso de los estuarios y lagunas costeras des-

taca por su importancia alimenticia y comercial el ostión americano (*Crassostrea virginica*). Su alto potencial de adaptabilidad a las condiciones estuarinas y su amplio rango de distribución, desde las regiones templadas y subtropicales hasta las tropicales húmedas del Golfo los convierten en uno de los recursos naturales más valiosos de la región. Se trata de un organismo eurihalino y euritérmico con un excepcionalmente amplio rango de adaptación a diferentes condiciones de salinidad (5-30%) y de temperatura (1-36°C). Sin embargo cuando se rebasan los niveles óptimos de salinidad o de temperatura al que se ha adaptado, las tasas de mortalidad se incrementan bruscamente. Su sobrevivencia depende de delicados equilibrios entre los ambientes sedimentarios de los estuarios. A tal punto, que los bancos ostrícolas pueden destruirse por causas naturales o antropogénicas provocando excesivas o repentinas acumulaciones de sedimentos (tormentas, dragados, canalizaciones, entre otras). Sus hábitos filtradores hacen que las corrientes de agua sean los medios para obtener su alimentación. En estas condiciones su hábitat ideal requiere de flujos continuos pero no turbulentos. Una alta turbidez puede alterar su mecanismo filtrador y producirle la muerte. En aguas de baja turbidez, recolecta montos considerables de sólidos suspendidos, depositándolos en forma concentradas contribuyendo con ello al mantenimiento de los delicados balances de los ambientes sedimentarios de estuarios y lagunas costeras. Tales hábitos, sin embargo, hacen que estos organismos filtren y retengan contaminantes que permanecen en la columna del agua o de los sedimentos. Por todas esas condiciones íntimamente vinculadas con la salud de los sistemas lagunares. Se ha tomado a *Crassostrea virginica* como un organismo indicador para la vigilancia de estos hábitats críticos del Golfo de México.

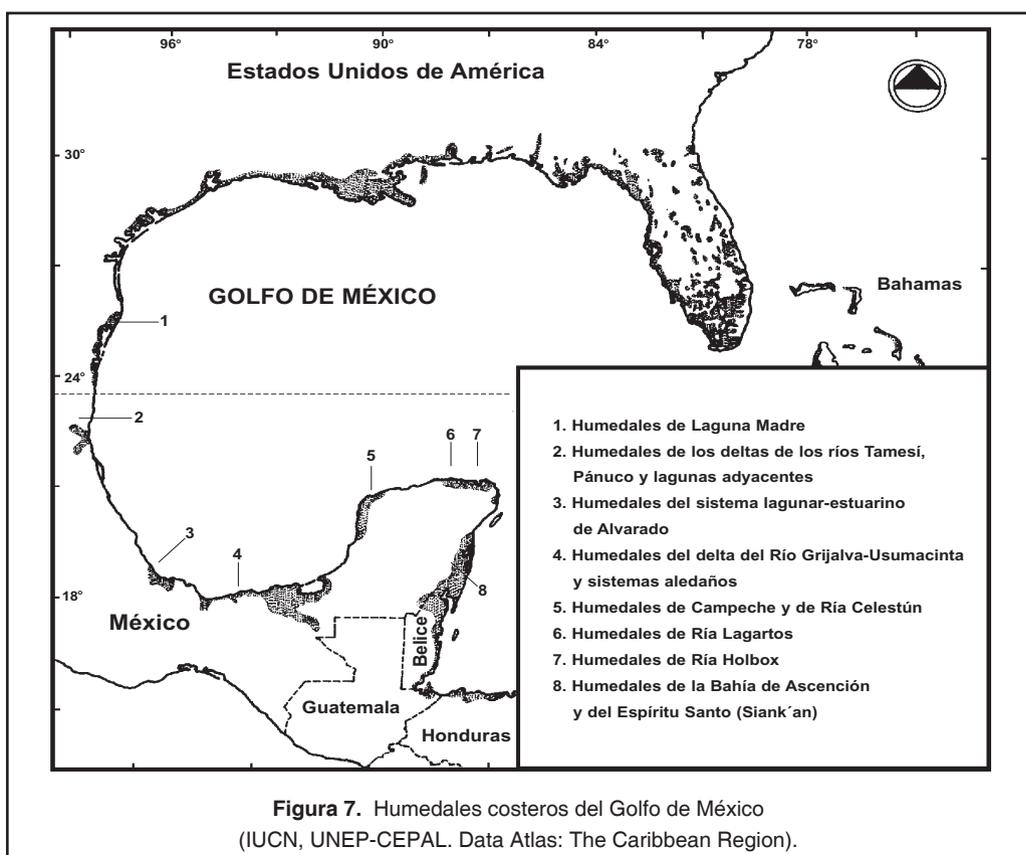
Desde los estuarios de Texas (particularmente la bahía de Galveston, donde la explotación del ostión alcanza millones de dólares), hasta los estuarios y lagunas costeras mexicanas; especialmente Laguna Madre en Tamaulipas; Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, Tuxpan, Tecolutla, Nautla, Tres Bocas, Misantla, Palmas y Boca del Río en Veracruz; Machona, Puerto Ceiba y Mecoaacán, en Tabasco; e Isla Chica y Boca de los Pargos, en Campeche, el

ostión representa un recurso valiosísimo de los estuarios del Golfo.

Sin duda uno de los ejemplos más claros de la estrecha conexión entre los sistemas lagunares-estuarios y marinos del Golfo de México lo constituyen el ciclo de vida del camarón (*Penaeus aztecus*, *Penaeus setiferus* y *Penaeus duorarum*). El camarón café (*P. aztecus*) y el camarón blanco (*P. setiferus*) son las especies comerciales más importantes de la región noroccidental del Golfo. Las mayores concentraciones de esas especies ocurren en las costas de Texas, Louisiana y Mississippi, donde el valor de su captura excede al de otras pesquerías. La actividad reproductiva se realiza en alta mar. En los estados portlarval inicia su migración hacia las zonas estuarinas. Su etapa juvenil transcurre en las ricas zonas de alimentación de los estuarios y gradualmente a medidas que se aproxima a su edad adulta, se desplaza desde las someras aguas estuarinas hacia las aguas más profundas del litoral. El camarón rosado (*P. duorarum*), por su parte es mucho más común en las Sonda de Campeche, donde constituye la pesquería más importante. Su ciclo de vida se desarrolla en igual forma entre los bancos carbonatados de la Sonda y los extremadamente productivos sistemas estuarinos del área, sobre todo, en la Laguna de Términos.

Humedales Costeros

Las olas y mareas controlan los ritmos biológicos de uno de los más vastos reservorios de nutrientes y energía del litoral de golfo: los humedales costeros (Fig. 7). El 63% de los humedales estadounidenses y más del 50% de los humedales costeros de México se encuentran en esta región. La mayoría se concentran en las costas de Louisiana, Texas y Florida, donde las especies dominantes son *Spartina alterniflora*, *Juncos roemerianus*, *Spartina patens*, *Distichlis spicata* y *Salicornia* sp. En tanto que en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, en los estados de Tabasco y Campeche, se concentra la mayor extensión de humedales costeros de México. Diversas comunidades de plantas acuáticas herbáceas se caracterizan por estos humedales. Entre las que sobresalen,



las hidrófilas enraizadas emergentes, como la asociación del popal *Thalia pontederia*, el carrizal *Phragmites australis* y el tular *Typha domingensis*; las hidrófitas enraizadas de hojas flotantes, como *Nymphaea ampla*, y *Nelumbo lutea*. Además de comunidades de hidrófitas sumergidas, enraizadas de tallos postrados y agrupaciones arbustivas y arbóreas.

En general, las investigaciones realizadas en las dos últimas décadas, sobre todo en humedales costeros de la región atlántica y del Golfo de México estadounidense, apoyan el hecho de que se trata de ecosistemas que poseen un alto nivel de productividad primaria neta, comparado con otros ambientes de la zona costera. Por ejemplo, los valores estimados para los humedales de aguas dulces intermareales estadounidenses han oscilado en un rango de 1,000 g/m² a 3,500 g/m² y, en algunos casos, ciertos humedales pueden producir 4,000 g/m² de materia viva (Wigham *et al.*, 1978)

El papel ecológico de estas comunidades, como mecanismos exportadores de nutrientes hacia los sistemas costeros del Golfo y como

base de las cadenas alimenticias, ha sido objeto también de investigaciones en los años recientes. En torno a esta hipótesis, la teoría ecológica ha generado una amplia discusión revisada inicialmente por Nixon (1980), a la que se han agregado en los últimos años mayores datos y de la que se derivan las conclusiones siguientes: la mayoría de los humedales estudiados hasta hoy exportan nutrientes orgánicos particulados y disueltos a los estuarios y a los sistemas costeros adyacentes, no se ha establecido con claridad el papel y la importancia de estas exportaciones en el sostenimiento de las cadenas alimenticias estuarinas y costeras. Todavía se requiere de mayores esfuerzos, sobre todo en los humedales tropicales del golfo, para comprender los movimientos de la energía y los nutrientes de los humedales a las cadenas alimenticias (Shater y Smith, 1984).

Lo que parece más consistente en torno a la importancia de estas comunidades vegetales es su papel como áreas de crianza y de refugio para las fases larvales y juveniles de varias especies de peces y crustáceos de gran valor alimenticio y comercial. Turner (1977) y Boesch

y Turner (1984) encontraron una significativa relación entre camarones peneidos y humedales en las costas noroccidentales del Golfo de México. Zimmerman y Minello (1984) compararon las densidades de algunas especies de la macrofauna, los crustáceos *Palaemonetes pugio*, *Penaeus aztecus*, *P. setiferus*, el cangrejo azul *Callinectes sapidus*, y algunos peces como *Lagodon rhomboides*, *Leiostomus xanthurus* y *Micropogonias undulatus*, en áreas ocupadas por *Spartina scandiflora*, y áreas sin vegetación. Entre los crustáceos: *P. pugio*, *P. aztecus*, y *C. sapidus*, fueron mas abundantes en las zonas de humedales, en tanto que *P. setiferus*, no mostró ninguna consistencia por una u otra de las áreas muestreadas. Estos autores concluyeron que los reclutamientos en sistemas de humedales dependen parcialmente de circunstancias que tienen que ver con los mecanismos que controlan los flujos, como la duración y el rango diario y estacional de las mareas. McTigue y Zimmerman (1991) en sus investigaciones sobre los crustáceos *Penaeus aztecus* y *P. setiferus*, estimaron que la utilización de los humedales depende de las oportunidades de alimentación disponibles, de las ventajas de protección contra los depredadores, del nivel de los flujos intermareales y de la morfología del humedal.

Esta correlación entre humedales costeros y las pesquerías litorales, ha llamado cada vez mas la atención de la comunidad científica de la región, especialmente en los últimos años. Y aun cuando la conexión energética entre los humedales y las pesquerías no se haya establecido de un modo concluyente, se han acumulado un gran número de evidencias que demuestran el papel que desempeñan estas comunidades costeras en la vida de alguna de las mas valiosas especies comerciales del golfo (Odum y Helad, 1972; Kuenzler, 1974; Turner, 1977, Soberon-Chavez y Yáñez-Arancibia, 1981, Barh *et al.*, 1982; Gracia y Soto, 1986; Vera *et al.*, 1988). Estos trabajos han destacado las interrelaciones energéticas que existen entre los diversos hábitats en las costas de Florida, Alabama, Mississippi, Louisiana, Texas, Veracruz, Tabasco y Campeche, y en el papel de las comunidades vegetales en el sostenimiento de la trama trófica. Turner (1977), pudo reunir suficientes evidencias para probar su hipótesis de que la abundancia y las cantidades comerciales importantes de camarones penei-

dos (*P. aztecus* y *P. duorarum*) estaban directamente relacionadas con las áreas y los tipos de vegetación de humedales. Bahr *et al.*, (1982) encontraron una relación cuantitativa entre la productividad primaria bruta y la producción pesquera en las costas de Louisiana, tomando como base de su análisis energéticos a las marismas y a especies tan valiosas como el ostión (*Crassostrea virginica*) y el camarón (*P. aztecus* y *P. setiferus*), la lacha escamuda (*Brevoortia tyrannus*), el cangrejo azul (*Callinectes sapidus*), Marotz *et al.* (1990) demostraron la importancia de los humedales de Louisiana, estudiando la historia de vida y los movimientos de especies tan valiosas como la lacha escamuda (*Brevoortia tyrannus*), que representa el 30% del valor total de las pesquerías comerciales de los Estados Unidos. Yáñez-Arancibia *et al.* (1985), en sus investigaciones sobre las poblaciones de peces demersales de la plataforma del sur del Golfo de México, demostraron que el 70% de las especies dominantes se encontraron, al menos, en una etapa de su ciclo de vida en los estuarios estudiados. Soberon-Chavez y Yáñez-Arancibia (1985), en sus estudios sobre la variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia sobre los recursos pesqueros, estimaron la relación entre vegetación y pesquerías. Gracia y Soto (1986), en sus investigaciones sobre los ciclos de vida de los camarones peneidos de la región de la laguna de Términos-Sonda Campeche, han puesto en relieve la importancia de los humedales en las fases postlarvales y juveniles de estos crustáceos. Vera-Herrera *et al.* (1988) han proporcionado una valiosa información que relaciona a los humedales de agua dulce, salobres y salinos con las pesquerías litorales.

El estudio del valor ecológico de los humedales del Golfo de México se ha orientado también, a conocer su importancia como hábitat de plantas y animales. Aunque la riqueza biótica de los humedales de litoral mexicano sea menos conocido que los estadounidenses, se sabe sin embargo, que los pantanos costeros de Tabasco y Campeche albergan 45 de las 111 especies de plantas acuáticas reportadas para México. Lo que la convierte en la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica (Lot y Novelo, 1988). También se conoce la riqueza de peces de agua dulce. En efecto, de las 500 especies de agua dulce enlistado para América Central, a México co-

rresponden 367 (el 73%) y de estas, el 57% se sitúa en la región del Golfo de México (Miller, 1986).

Para algunas especies, los humedales resultan áreas vitales de las que dependen completamente para su alimentación, reproducción y crecimiento. Para otras, solo constituye estaciones de tránsito y áreas de refugio donde pasan periodos cortos, aunque críticos de su ciclo de vida. Para algunas especies raras, amenazadas y en peligro, los humedales representan las últimas zonas de refugio. El valor de los humedales como hábitat, que comprende a la estructura y a la diversidad de sus especies vegetales y animales, a sus patrones espaciales y a su zonación vertical y horizontal, es tal vez su mayor aporte a la economía biológica del Golfo de México, independientemente de su vinculación energética y económica con las pesquerías de alto valor comercial (Herzig, 1987).

Manglares

Entre los ecosistemas costeros tropicales de alta diversidad destacan los bosques de mangle que bordean amplias zonas del litoral del golfo de México. En las costas estadounidenses, las comunidades de manglares se concentran, sobre todo, en Florida, donde abundan cuatro especies: rojo (*Rhizophora mangle*); negro (*Avicennia germinans*), blanco (*Laguncularia racemosa*) y botoncillo (*Conocarpus erectus*). El manglar es una planta con una notable habilidad para tolerar la salinidad y para crecer en los sustratos lodosos y arenosos de los estuarios y lagunas costeras tropicales. Esta capacidad lo hace prevalecer frente a otras comunidades de los ambientes costeros. Su productividad neta se ha estimado en 24 toneladas (peso seco) ha⁻¹ año⁻¹, superior al de la selvas tropicales, y las lagunas costeras y estuarios (Chapman, 1969; Lugo y Cintron, 1975; Lot *et al.*, 1975; Gore, 1977; Schomer y Drew, 1982; López-Portillo y Ezcurra, 1989; Flores-Verdugo, 1989; Cintron-Molero y Schaeffer-Novelli, 1992).

Desde las raíces hasta el dosel, el manglar provee de una gran cantidad de hábitats a especies acuáticas y terrestres como canales entre las raíces, charcos permanentes y semiper-

manentes, espacios intersticiales en los suelos fangosos, raíces superficiales, huecos en las ramas y perchas en las copas. La enorme cantidad de energía almacenada en sus hojas es la fuente para el sostenimiento de los consumidores primarios. Con su caída se inicia la formación de detritos ricos en nutrientes. Hongos y bacterias se encargan de la descomposición de la hojarasca. Numerosas especies de invertebrados ocupan la columna de agua, las raíces y la parte arbórea del manglar. Crustáceos, moluscos, bivalvos y gasterópodos habitan temporal o permanentemente en los estratos inferiores. Otros organismos viven adheridos a sus tallos y raíces. Entre ellos el ostión de mangle *Cassostrea rhizophorae*. Varias especies de cangrejos ocupan el piso, las raíces y las ramas. Son habitantes conspicuos en estos lugares, el cangrejo (*Cardisoma guanhumi*), el cangrejo violinista (*Uca rapax*), el cangrejo del manglar (*Goniopsis cruentata*) y el cangrejo ermitaño (*Clibanarius vittatus*). Numerosas especies acuáticas y terrestres son habitantes transitorios del manglar. Peces y crustáceos de importancia comercial se encuentran íntimamente ligados a esta comunidad. Algunos tan directamente importantes para la alimentación y la economía humana como el camarón rosado (*Penaeus duorarum*). El camarón café (*P. aztecus*) y el camarón blanco (*P. setiferus*). Peces dependientes de ambientes salinos, de los detritos y del sustrato del manglar forman vastas comunidades. En los manglares de Florida se ha colectado 64 especies entre las raíces del mangle, entre las que sobresalen especies forrajeras como mojarras (*Eucinostomus gula* y *Eucinostomus argenteus*), el gobio (*Gobiosoma robustum*); y peces juveniles de importancia comercial y recreativas como el robalo blanco (*Centropomus undecimalis*), el pargo prieto (*Lutjanus griseus*), la corvina (*Cenuscion nebulosus*), la lebrancha (*Mugil curema*) y la barracuda (*Sphyraena barracuda*) (Thayer *et al.*, 1988). Los manglares son áreas de crianza para especies valiosas como la corvina (*Cenuscion nebulosus*), el tambor (*Pogonias cromis*), el lenguado (*Paralichthys lethostigma*), el sargo (*Achorsargus probatocephalus*), el cangrejo azul (*Callinectes sapidus*), el camarón café (*P. aztecus*), el camarón blanco (*P. setiferus*) y el rosado (*P. duorarum*).

Anfibios y reptiles herbívoros, omnívoros, carnívoros primarios, secundarios y superiores,

constituyen otro nivel de la cadena trófica dependiente del manglar. Para alguna de estas especies, los manglares constituyen el último refugio. Tortugas como la verde (*Chelonia mydas*), el cocodrilo americano (*Cocodylus acutus*), el lagarto americano (*Alegator mississippiensis*), el cocodrilo de pantano (*Cocodylus moreletii*), se consideran amenazadas o en peligro.

Sus densas copas proporcionan el abrigo ideal para la avifauna residente o migratoria. Se han clasificado en manglares de Florida hasta 181 especies de aves que utilizan al manglar como su hábitat (Odum *et al.*, 1982). Zancudas, exploradoras, flotantes, rapaces, aéreas y arbóreas, constituyen comunidades de aves que habitan temporal o permanentemente la zona de manglares. Herbívoras como los patos golondrino y floridianos (*Anas acuta*) y los patos silvestres (*Anas platyrhynchos*); piscívoras como el cormorán (*Phalarocorax olivaceus*), la aninga americana (*Anhinga anhinga*) y el pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*); rapaces como el halcón de cola corta (*Bruteo brachyuris*), el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) y el águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*) (Niering, 1985). Algunas de estas especies se encuentran en peligro, como la cigüeña americana (*Mycteria americana*); amenazadas como el pelícano pardo (*Pelecanus occidentalis carolinensis*) y el cazador americano de ostras (*Haemantopus palliatus*). Cerca de 20 mamíferos han sido identificados dentro de las zonas de manglares en Florida, entre ellos el zorro ardilla de los manglares (*Scirus níger avicennia*) y el manatí (*Trichechus manatus latirostris*). La mayoría amenazados o en peligro de extinción.

Pastos Marinos

Los pastos marinos son abundantes en los estuarios y en los ambientes someros del Golfo de México. En la porción estadounidense, particularmente en la Florida y Texas, predominan seis especies: *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *H. beaudettei*, *Halophila engelmanni*, y *Halophila baillonis*. En las lagunas costeras y estuarios, hasta los bordes externos de la plataforma continental de México, también se encuentran extensas pra-

deras de pastos marinos (*Halodule beaudettei*, *Thalassia testudinum*, *H. wrightii*, *Syringodium filiforme*, y *Ruppia maritima*), especialmente en la sonda de Campeche-laguna de Términos, en la zona de cayos y arrecifes coralinos de Veracruz y en los sistemas lagunares de Tamaulipas. Se trata de un hábitat de gran importancia para la economía biológica del golfo, sobre todo por sus funciones de estabilizadores de sedimentos y de sitios de crianza y alimentación para una enorme variedad de peces e invertebrados (Heck y Orth, 1980; Ibarra, 1993).

Esta diversidad faunística se sostiene gracias a una elevada productividad. En efecto, la productividad primaria de los pastos marinos contribuyen a la vida marina hasta en 2000 g de peso seco m²/año; el aporte de sus epífitas se ha estimado en 500 g/m²/año y las de su microalgas bénticas en 200 g /m²/año. En total: aproximadamente 3000 g de peso seco m²/año (Ferguson *et al.*, 1969; Thorhaug, 1981; Torres Orozco, 1991). De la Lanza *et al.* (1981), estimaron productividades primarias para *Thalassia testudinum* en la praderas de la parte interna de la Isla del Carmen de 487.5 mgC/m²/día en junio. Moore y Wetzel (1988), calcularon una producción de 2,852.5 gC peso seco/m²/día, equivalente a 740,836 mgC peso seco /m²/día, para *Thalassia* en una localidad de los Cayos, en la misma laguna, en febrero (De la Lanza y Rodríguez-Medina, 1991).

Estudios de isótopos estables de las cadenas alimenticias estuarinas, se han enfocado a la identificación de las plantas que ofrecen carbono para los consumidores. Kitting *et al.* (1984), sugieren que las epífitas de los pastos marinos son una fuente importante de carbono para los consumidores. Raz-Guzmán y De la Lanza (1991), evaluaron los mecanismos fotosintéticos utilizados por la vegetación sumergida en laguna de Términos, llegando a la conclusión de que en algunas áreas de la laguna, la materia orgánica de las praderas de pastos y algas constituyen la fuente principal de carbono orgánico. De la Lanza y Rodríguez-Medina (1991) argumentan que los productores primarios de las praderas de *Thalassia testudinum* en la laguna de Términos constituyen la principal fuente de detritos. Hornelas (1975) concluye que los herbívoros obtienen un 42.3% de energía de una mezcla de fitoplancton, pastos marinos epífitas y mangle.

Fry y Parker (1979), en sus estudios de la Laguna Madre, Hackney y Haines, (1980), en sus investigaciones en las marismas del río Mississippi, Fry *et al.* (1982), en Nicaragua, Raz Guzmán *et al.* (1992), y Raz Guzmán y De la Lanza, (1993) en sus estudios de la laguna de Términos y del sistema lagunar de Alvarado, estimaron la relación directa entre especies de importancia alimenticia y comercial, y la vegetación acuática y valoraron a las comunidades vegetales acuáticas como fuente de carbono orgánico alimentario para los consumidores bentónicos.

Fry (1981 y 1983) realizó análisis de isótopos estables de carbono para conocer las contribuciones de la vegetación a la base de la cadena alimenticia y los movimientos migratorios de cinco especies comercialmente importantes de peces y crustáceos, a lo largo de las costas de Florida y Texas: el pez moteado (*Leiostomus xanthurus*), el roncadador (*Micropogonias undulatus*), el camarón café (*Penaeus aztecus*), y el camarón rosado (*Penaeus duorarum*). Raz-Guzmán y De la Lanza, (1993), estudiaron los cangrejos *Callinectes sapidus* y *Dyspanopeus texanus*, los camarones peneidos *Penaeus setiferus*, *P. duorarum* y *P. aztecus*, el mayacaste, *Macrobrachium acanthurus*, así como el camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri*, caracterizándolos isotópicamente para identificar sus fuentes de alimentos, establecer sus posiciones tróficas relativas y conocer sus patrones de migración.

De lo anterior se puede concluir que: a) los consumidores aprovechan fuentes de carbono orgánico de diversa naturaleza isotópica, b) para los microorganismos acuáticos la fotosíntesis es a menudo la mayor fuente de carbono orgánico en ambientes estuarinos y que las cadenas alimenticias en los humedales y los pastos marinos, no se basan uniformemente en los detritos de las macrofitas, sino también en las algas, c) los factores que controlan los isótopos estables del carbono en las plantas no son completamente conocidos y el rango de variación entre las comunidades vegetales es muy amplio, d) se ha logrado establecer que las cadenas alimenticias en los ambientes costeros del Golfo de México, se basan en una mezcla de fitoplancton, pastos marinos, epífitas y mangle. Es por lo tanto difícil establecer una relación lineal directa, entre vegetación acuática y

consumidores, sobre todo en los niveles superiores (Fry y Sherr, 1984).

Heck y Orth (1980) examinaron el papel de los pastos marinos como un hábitat importante para peces e invertebrados y encontraron que hay un pronunciado latitudinal en la complejidad estructural y la heterogeneidad espacial de los ambientes de pastos marinos, progresando de las comunidades relativamente simples de climas templados caracterizados casi exclusivamente por pastos marinos; a sistemas de temperaturas intermedias y subtropicales, con pastos, algas y esponjas; hasta los complejos sistemas tropicales dotados de praderas de pastos, algas, esponjas y corales. Orth *et al.* (1984) al analizar la influencia de la estructura de las plantas y las características de la relación presa-predador, en las comunidades faunísticas de pastos marinos, se percataron que comparadas con las áreas de vegetación circunvecinas, contienen un denso y rico conjunto de vertebrados e invertebrados. Son varias las posibles causas de esta alta densidad: la arquitectura de las plantas, la densidad de las raíces, la heterogeneidad de las praderas, la biomasa de las plantas. La superficie y la morfología de las hojas, el espesor, la estructura y la proximidad del estrato de rizomas respecto de los sedimentos superficiales, son las principales características de los pastos marinos, que pueden mitigar potencialmente los efectos de la predación.

Thayer *et al.* (1984), analizaron la ecología nutricional de la fauna en las áreas de pastos marinos y concluyeron que los detritívoros destacan como los mayores beneficiarios de la energía fijada por estas comunidades. Solo unas cuantas especies pastorean directamente en estas praderas y aparentemente sólo una pequeña porción de la energía y los nutrientes almacenados en estas comunidades vegetales se canaliza a través de estos herbívoros. Estas especies sin embargo, tienen un profundo efecto sobre las plantas, los consumidores y la fauna asociada con la vegetación, y sobre los procesos químicos y de descomposición que ocurren al interior en estos ecosistemas. Erizos como *Diadema antillarum*, *Echinometra lucunter*, *Strongylocentrotus intermedius* y *S. purpuratus*, se alimentan en las praderas de pastos marinos y consumen principalmente detritos, aunque algunos se alimentan directamente con

las hojas. Peces, como el pez loro *Parisoma radians*, se alimentan enteramente de pastos, especialmente de *Thalassia testudinum*. Reptiles como la tortuga verde *Chelonia mydas* es el único que ramonea las praderas de *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*. Sirénidos como el manatí (*Trichechus manatus*), que se moviliza entre ambientes de aguas dulces y marinos, y la vaquita marina (*Dugong dugon*), son los únicos mamíferos que se alimentan de pastos. Algunas aves como *Anas acuta*, *A. platyrhynchos* y *Signus olor* también se alimentan de pastos.

En las regiones tropicales, los herbívoros comprenden una mayor porción de la fauna que depende de los pastos marinos que en las zonas templadas. En estas áreas, son residentes comunes la corvina (*Cynoscion nebulosus*) y el pez puerco (*Pseudobalistes carolinensis*). Son especies forrajeras, el pez loro (*Scarus guacamaia*), la lisa (*Mugil cephalus*), la lebrancha (*Mugil curema*), y la tortuga verde (*Chelonia mydas*). Vargas-Maldonado y Yáñez-Arancibia (1987) en su análisis de la estructura de una comunidad de peces en praderas de *Thalassia testudinum* en la laguna de Términos encontraron una especie altamente conspicua *Sphoeroides testudineus* y ocho especies asociadas: *Archosargus rhomboidalis*, *Arius felis*, *Arius melanopus*, *Eucinostomus gula*, *Bairdiella chrysoura*, *Chilomycterus schoepfi*, *Acanthrostracion quadricornis* y *Orthopristis chrysoptera*. Registraron 56 especies durante el ciclo anual analizado, completando con ello una lista de 87 especies reportadas para esta taxocenosis.

Arrecifes Coralinos

Los arrecifes coralinos figuran entre los ecosistemas tropicales de mayor diversidad y valor estético (Di Salvo y Odum, 1974; Macintyre *et al.*, 1982). Estos ecosistemas sostienen a una alta productividad de biomasa y al mayor número de especies de cualquier otro ecosistema marino o terrestre. Se ha estimado la productividad primaria de los arrecifes coralinos en 300-500 gC/m²/año⁻¹. Productores bénticos, macroalgas y microalgas, son los principales responsables de estas altas tasas de productividad. Estos organismos politróficos

presentan simbiosis íntimas entre plantas y animales, que desempeñan simultáneamente funciones de productores primarios, de consumidores primarios y consumidores secundarios (Gladfelter, 1982). La producción de carbonato de calcio en un arrecife varía entre 400 y 2,000 toneladas por ha. Esta intensa y perpetua actividad juega un papel decisivo para el mantenimiento del equilibrio químico de las aguas oceánicas, al procesar los enormes volúmenes de sedimentos carbonatados arrastrados al lecho marino por corrientes y descargas fluviales. Hay que considerar además, que estas comunidades cumplen otras funciones vitales para la estabilidad de algunos ambientes críticos de la costa como los manglares, los pastos marinos y las lagunas costeras. Los arrecifes constituyen barreras que disipan la energía de las corrientes, creando ambientes de baja energía favorables para la proliferación de múltiples formas de vida, a la vez que controlan la erosión de la línea costera, integran un eslabón de importancia capital en el ciclo de nutrientes que ligan a manglares, pastos marinos y arrecifes. Cumplen una función igualmente crítica como áreas de refugio, cría y alimentación de las numerosas especies que las habitan de un modo permanente o en forma estacional. Hasta ahora se han logrado identificar entre 500 y 700 especies de fauna en los arrecifes de Florida. Fenómenos naturales, como los fuertes vientos y el oleaje producido por las tormentas y los huracanes tropicales son factores ambientales que provocan a menudo la destrucción de los arrecifes. Cambios en la temperatura del agua, flujos y excesivos de aguas dulces y sedimentos, también producen la mortalidad masiva de estas formaciones. Difícilmente pueden mantenerse las condiciones de estabilidad que exigen la salud de estos ecosistemas, en áreas de intensos tráficos marítimos, de actividades energéticas, pesqueras y de altos crecimientos de poblaciones humanas y desarrollos turísticos, como en el caso del Golfo de México.

En el territorio mexicano existen cerca de 30 formaciones arrecifales que se desarrollan en un rango de 2-40 m de profundidad sobre la plataforma continental y tiene una orientación generalmente de Noroeste-Sureste, lo que sugiere una fuerte influencia de las corrientes costeras y de los vientos prevalecientes sobre su morfología. En el caso de los arrecifes tamaulipecos y veracruzanos, las corrien-

tes oceánicas, los vientos polares y las masas de aires fríos que se manifiestan durante ocho meses del año en la región, junto con las descargas de los ríos y las descargas de desechos domésticos municipales y otras actividades humanas, como las pesqueras, las petroleras y las turísticas, los hacen florística y faunística-mente menos diversos que los arrecifes caribeños. Estos arrecifes pertenecen a la Provincia Zoogeográfica Caribeña. Las cálidas corrientes oceánicas de la región juegan un papel decisivo en sus estructuras y funciones (Villalobos-Figueroa, 1971; Jordan, 1979; Chávez *et al.*, 1970 y 1985; Castro y Márquez, 1981; Wells, 1988).

Dominadas por colonias de *Diploria strigosa*, *D. clivosa*, *Siderastrea radians*, *Porites astroides*, *Montastraea annularis*, *Acropora cervicorni* y *A. palmata*, los atolones constituyen un importante sitio para la alimentación, el refugio y la anidación de una abundante fauna marina. El número de especies en la ictiofauna re-

gistrada en los arrecifes mexicanos asciende a 237 especies, de las cuales 94 se han reportado para el arrecife de Lobos; 41 se conocen en Triángulos Oeste; 38 de Cayo Arcas; 32 de Cayo Arenas y 142 del arrecife Alacranes (Pérez-Hernández, 1989; Vargas *et al.*, 1989). A los que hay que agregar a las aves residentes y migratorias.

Lagunas costeras, humedales, manglares, pastos marinos y arrecifes son ecosistemas dinámicos que se interconectan e interactúan en diversas formas, por ejemplo se ha demostrado que el flujo de nutrientes disueltos en los manglares hacia los pastos marinos favorece la productividad primaria de estos. Ambos ecosistemas favorecen la productividad secundaria de los arrecifes de coral (UNESCO, 1982). Las zonas pantanosas de la Florida y del delta del río Mississippi (Louisiana) en los Estados Unidos; y de Tabasco y Campeche en México; desempeñan un papel absolutamente decisivo para el sostenimiento de las pesquerías del área.

EL HOMBRE: EL GRAN TRANSFORMADOR DE LOS HÁBITOS DEL GOLFO

Al inicio de la historia de la colonización de los territorios que hoy integran a los Estados Unidos de Norteamérica, hacia mediados del siglo XVI, la superficie estimada de humedales palustres y costeros era de 87 millones de ha. Hacia mediados de los años 70s, solamente restaban 40 millones de ha de ese enorme potencial biológico. Más del 50% se había perdido por las acciones directas o indirectas del hombre. En los últimos años, lejos de atenuarse esta tendencia, las pérdidas se han incrementado de un modo dramático. Hoy se calcula que los humedales norteamericanos desaparecen aun ritmo de 200,000 ha anuales, según las estimaciones del Servicio de Fauna Silvestre (FWS) de los Estados Unidos. La agricultura ha sido la responsable del 87% de los humedales perdidos; los desarrollos urbanos causan el 8% de la pérdidas; y un 5% se atribuye a causas diversas (Williams y Sallenger, 1990).

Las islas de barrera tampoco han escapado a los impactos de las actividades humanas. A principios de los años 80s diversas agencias del gobierno norteamericano habían identificado 186 unidades ecológicas de costas de barreras, a lo largo de 666.4 millas del litoral

estadounidense. De estas unidades originales el FWS estudio 19 hábitats críticos con la finalidad de detectar los cambios ocurridos en ellos y atribuibles a las actividades humanas. En los 19 sitios se encontraron alteraciones debidas a las acciones del hombre. El mayor impacto lo causaron las operaciones de dragado (en 17 unidades); las estructuras de estabilización afectaron a 15 de las unidades estudiadas; presas y otras obras de contención, habían reducido drásticamente las aportaciones de sedimentos en 8 unidades. La conclusión principal es que la mayoría de las áreas están erosionadas (Watzin, 1990). Tanto humedales costeros como islas de barreras sufren los efectos de los procesos erosivos que hoy afectan a prácticamente todos los estados costeros norteamericanos del Golfo de México. A un ritmo que se ha estimado para las planicies en 20m/año; y en 100 km²/año, para los humedales (Williams y Sallenger, 1990).

Un amplio número de amenazas se ciernen hoy sobre las comunidades arrecifales del Golfo de México. Desde los eventos naturales, como las tormentas tropicales y los flujos de sedimentos de los ríos, hasta los efectos de las

actividades humanas, sobre todo las intensas actividades petroleras, la sobre-explotación de sus recursos bióticos y el turismo. Los trabajos de construcción en las cercanías de estos hábitats críticos, como los puertos petroleros y comerciales y los centros turísticos, producen graves efectos erosivos. El dragado y los trabajos de perforación en el piso oceánico, incrementan la cantidad de sólidos suspendidos y la turbidez impidiendo la penetración de la luz; los desechos municipales son causa de severos procesos de eutrofización y a menudo, provocan cambios en la salinidad, con efectos letales para los arrecifes. Los plaguicidas utilizados masivamente en la agricultura de tierras bajas, son arrastrados por las lluvias, las corrientes fluviales y los vientos hacia los arrecifes, ocasionando la mortalidad de sus organismos. Los efluentes y los derrames intermitentes u ocasionales de las actividades petroleras, químicas y petroquímicas son altamente tóxicos para estas comunidades; los desechos radioactivos y los efluentes de las plantas nucleares constituyen otra severa amenaza para estos ecosistemas (Kuhlmann, 1988).

Un ejemplo del deterioro de las comunidades arrecifales del Golfo lo constituyen los arrecifes veracruzanos particularmente, los próximos al Puerto de Veracruz. Estos arrecifes fueron utilizados intensivamente como material de relleno en la construcción de diversas obras portua-

rias. Por años han sufrido las consecuencias del vertimiento masivos de todas clases de desechos municipales. El dragado para la apertura de canales de navegación, ha significado una constante remoción de sedimentos que impide la penetración de la luz y que ha provocado la muerte de estos delicados organismos. A lo anterior hay que agregar la sobre-explotación de especies (Pérez, 1989).

Si fijáramos nuestra atención en las lagunas costeras y los estuarios del Golfo no sería muy distinto el panorama. Dentro de su programa Trends Mussel Watch, la NOAA ha demostrado que, a pesar de todas las restricciones impuestas al uso de plaguicidas, el DDT y sus metabolitos, están presentes en concentraciones significativas en los estuarios estadounidenses del Golfo de México (Sericano y Wade, 1990). La larga lista de investigaciones emprendidas por científicos mexicanos en los diversos hábitats del Golfo, dan una idea clara de la magnitud de los impactos provocados por las actividades humanas.

Ninguno de los ecosistemas costeros del Golfo de México se encuentra hoy a salvo de las presiones a las que los someten las actividades del hombre. Los niveles de contaminantes encontrados son una señal de alerta para emprender acciones inmediatas.

GOLFO DE MÉXICO, UN MANEJO GLOBAL: UN FUTURO POSIBLE

El Golfo de México es una región de un valor incalculable para el mantenimiento de la vida en la tierra y para el bienestar de los seres humanos que habitan sus zonas costeras. En su mayoría, los problemas son comunes para los países ribereños y solo pueden resolverse por medio de acciones colectivas. Solo la comprensión de esta realidad podrá inducir hacia una nueva relación entre el hombre y sus recursos en esta parte del planeta. Científica y tecnológicamente, el ser humano se encuentra en condiciones de afrontar exitosamente la alta complejidad de los problemas que le presenta el manejo de sus ecosistemas. Lo mismo si se trata de lagunas costeras, estuarios, bahías,

manglares, humedales y arrecifes. Solo falta la decisión de hacerlo. Si tal decisión se tomara, el Golfo de México podría transformarse en un gran laboratorio natural al servicio del mejoramiento de la calidad de la vida en el planeta.

En la actualidad, existen instituciones en los países ribereños (Estados Unidos, México y Cuba) que realizan investigaciones interinstitucionales e interdisciplinarias en torno a los procesos que tienen lugar en el Golfo de México. Científicos estadounidenses, mexicanos, cubanos y de otras nacionalidades han desarrollado ya programas conjuntos que permiten caminar en esta dirección.

LITERATURA CITADA

- Ayala-Castañares, A. y F.B. Phleger, 1969.** Las Lagunas Costeras: Un Simposio. Mem. Simp. Int. Sobre Lagunas Costeras (origen, dinámica y productividad). UNAM/UNESCO. México, D. F. Noviembre 28-30, 1967. 686 p.
- Antoine, W. J. , 1972.** Structure of the Gulf of México, p. 134. *In:* R. Rezak and J.H. Vernon. Contributions on the Geological and Geographical Oceanography on the Gulf of México. Vol 3. Texas A & M. University. Oceanography studies. 303 p.
- Bassols B. A. 1977.** Geografía Económica de México. 3ra Ed. 440 p.
- Bahr, L.M., Jr. J.W. Day, y J.H. Stone, 1982.** Energy cost-accounting of Louisiana fishery production p. 209-215. *Estuaries*, 5 (3): 209-215.
- Biggs, D. C., 1992.** Nutrients, plankton and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of México. *Journal of Geophysical Research*, 97 (2): 2143-2154.
- Boesch, D., y R.E. Turner, 1984.** Dependence of fishery species on salt marshes: The role of food and refuge. *Estuaries*, 7(4): 460-468
- Bogdanov, D.V., V.Asokolov y N. S. Khromov, 1968.** Region of high biological and commercial productivity in the Gulf of México and Caribbean Sea. Academy of Sciences of the URSS. Scripta Technica Inc. for the American Geophysical Union. *Oceanology*, 8(3): 371-381.
- Bouma, A. H., 1972.** Distribution of sediments and sedimentary structures in the Gulf of Mexico, p. 35-65. *In:* R. Rezak and J.H. Vernon. Contributions on the Geological and Geographical Oceanography on the Gulf of México. Vol 3. Texas A & M. University. Oceanography studies. 325 p.
- Bozada, L. y M.A. Morales (inédito).** Sobre la diversidad biótica en la zona costera tropical del Golfo de México. 15 p. y Anexos.
- Britton, J.C., y B. Morton, 1989.** Shore Ecology of the Gulf of México. University of Texas Press, Austin, 387 p.
- Carranza, E. A., E.M. Gutiérrez, y T.R. Rodríguez, 1975.** Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales del Inst. de Ciencias del Mar y Limn. Univ. Nal. Aut. de México*, 2(1): 81-88.
- Carson, R. L. 1980.** El Mar que Nos Rodea. Ediciones Grijalbo, S.A., Barcelona España, 278 p.
- Castro-Aguirre, J.L. y A. Márquez-Espinoza, 1981.** contribución al conocimiento de la ictiofauna de la isla de Lobos y zonas adyacentes, Veracruz, México. Departamento de Pesca. Serie científica 22. Instituto Nacional de Pesca.
- Centro de Ecodesarrollo, 1981.** Las Lagunas Costeras de Tabasco. Un Ecosistema en Peligro. México, 97 p.
- Centro de Ecodesarrollo-SEPESCA, 1981.** Atlas del Golfo y Caribe de México. Diagnostico ambiental.
- Cintron-Molero, G. y Y. Schaeffer-Novelli, 1992.** Ecology and management of new world mangrove, p. 233-257. *In:* Ulrich Seeliger (Ed.) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, USA, 382 p.
- Cifuentes. J.L., M del P. Torres García y M. Frías, 1986.** El Océano y sus Recursos, p. 47-68. III. Las ciencias del mar: oceanografía física, matemáticas e ingeniería. SEPFCE-CONACYT.
- Cochrane, J.D., y F.J. Nelly, 1986.** Low frequency circulation on the Texas-Louisiana continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, 91(9): 10,645-10,659.
- Contreras, F. 1988.** Las Lagunas Costeras Mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaria de Pesca. 263 p.
- Contreras, F. y L. Zabalegui, 1988.** Aprovechamiento del Litoral Mexicano. Centro de Ecodesarrollo, 128 p
- Couper, A. 1983.** Atlas of the Ocean. Times Books Limited. London, 272 p
- Chapman, V.J., 1969.** Lagoons and mangrove vegetation, p. 505-514. *In:* A Ayala-Castañares, y F.B. Phleger, (Eds). Las Lagunas Costeras: Un Simposio. Mem. Simp. Lagunas Costeras UNAM/UNESCO. México, D. F. Noviembre 28-30, 1967. 686 p.
- Chávez, E.A., E. Hidalgo, y M.I. Sevilla 1970.** Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife de Lobos, Veracruz. *Rev. de la Soc. Mex. de Hist. Nat.*, 31: 211-280.
- Chávez, E.A., E. Hidalgo, y M.A. Izaquirre, 1985.** A comparative analysis of Yucatán coral reef. *Proc. 5th int. Coral Reef. Cong. Thai.* 6:355-361.
- De la Lanza, G. y C. Tovilla, 1986.** Una revisión sobre taxonomía y distribución de pastos marinos. *Universidad y Ciencia*, 3(6): 17-38.
- De la Lanza, G. y M. Rodríguez Molina, 1991.** Análisis ecológico de los productores primarios en la Laguna de Términos, Campeche, México, *Universidad y Ciencia*, 8(15):15-25.

- De la Lanza, G. (Comp), 1991.** Oceanografía de Mares Mexicanos AGT. Editor, S.A. 569 p.
- Disalvo, L.H. y H.T. Odum, 1974.** Coral Reef. In: H.T. Odum, B.I. Copeland and E. McMahan (Eds). Coastal Ecological Systems of the United States. I. Pub. by the conservation foundation, Washington. D.C. and NOAA.
- Elliot, B.A. 1982.** Anticyclonic rings in the Gulf of México. *Journal of Physical Oceanography*, 12:1292-1309.
- Emery, K.O. 1963.** Coral reef of Veracruz, México, *Geofísica internacional*, 3(1): 11-17.
- Etter, P.C., 1983.** Heat and freshwater budgets of the Gulf of México. *Journal of Physical Oceanography*, 13: 2058-2068.
- Ferguson, E., E.J. W.E. Odum y J.C. Zieman, 1969.** Influence of the sea grasses on the productivity of coastal lagoons., p. 495-502. In: A Ayala-Castañares, y F.B. Phleger, (Eds). Las Lagunas Costeras: Un Simposio. Mem. Simp. Lagunas Costeras UNAM/UNESCO. México, D. F. Noviembre 28-30, 1967. 686 p.
- Fernández E. A. A. Gallegos, y J. Zavala, 1993.** Oceanografía física de México. Zona Económica Exclusiva. *Ciencia y Desarrollo*, 18(108): 24-35.
- Ferre D' Amare, A.R., 1985.** Coral reef of the mexican atlantic: a review, p. 349-354. Proc 5th. Coral reef Cong Thaití.
- Figuroa, T., M.G., C. Alvarez, S., A. Esquivel H. y M.A. E. Ponce, 1991.** Físicoquímica y biología de las lagunas costeras mexicanas. Serie: Grandes temas de la hidrobiología 1. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Div. Cien. Biol. y de la Salud.
- Flores-Verdugo, J.F. 1989.** Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar, p. 21-56. In: J. de la Rosa Vélez, y F. González Farías. (Eds). Temas de Oceanografía Biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 337 p.
- Forrystal, G. Z., K.J. Schaudt y C.K. Cooper, 1992.** Evolution and kinematics of a loop current Eddy in the Gulf of México during 1985. *Journal of Geophysical Research*, 97(2): 2173-2184.
- Fuente P., 1991.** Diversidad ictiofaunística en sistemas lagunares de México. p. 66-73. In: T. Figuroa, M.G., C. Alvarez, S., A. Esquivel H. y M.A. E. Ponce (Eds). Físicoquímica y Biología de las Lagunas Costeras Mexicanas. Serie: Grandes Temas de la Hidrobiología 1. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Div. Cias. Biol. y de la Salud.
- Fry, B., 1981.** Natural stable carbon isotope tag traces Texas shrimp migrations. *Fishery Bulletin*, 79(2): 337-345
- Fry, B. R. S. Scalan J.K. Winters, y P.L. Parker, 1982.** Sulphur uptake by salt grasses, mangroves and seagrasses in anaerobics sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46:1121-1124.
- Fry, B., 1983.** Fish and shrimp migrations in the northern gulf of México analysed using stable C.N. and S. Isotopes ratios. *Fishery Bulletin*, 81(4):789-801.
- Fry, B., y P.L. Parker, 1979.** Animal diet in Texas seagrass meadows: $\delta^{13}\text{C}$ evidence for the importance of the benthic plants. *Estuarine Coastal Mar. Sci.*, 8: 499-509.
- Fry, B., y E.B. Sherr, 1984.** $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science*, 27: 13-47
- Geyer, R.A., y Ch. P. Giammona, 1980.** Naturally occurring hydrocarbons in the Gulf of México and Caribbean Sea. p. 37-106. In: Richard A. Geyer (Ed). Marine Environmental Pollution, 1. Hydrocarbons. Elsevier. Oceanography Series 591 p.
- Gladfelter, E., 1982.** The role of scleractinian corals, in the trophodynamics of the reef ecosystem. In: Coral Reef. Seagrasses and Mangroves. Their interaction in the coastal zone of the Caribbean. Report of a workshop held at West Indies Laboratory, St. Croix, US. Virgin Islands, May, 1982. 186 p.
- Gore, R., 1977.** The role nobody liked. Wild nursery of the mangrove. *National Geographic*, 151(5): 668-688.
- Gracia, A., y L.A. Soto 1986.** Condiciones de reclutamiento de las poblaciones de camarones peneidos en un sistema lagunar-marino tropical: Laguna de Términos, Banco de Campeche, p. 235-242. In: A. Yáñez-Arancibia y D. Pauly (Eds). IOC/FAO Workshop report No. 44 on recruitment in tropical coastal demersal communities, 374 p.
- Hamilton, P. 1990.** Deep currents in the Gulf of México, *Journal of Physical Oceanography*, 20:1087-1104.
- Hamilton, P., 1992.** Lower continental slope cyclonic Eddies in the central Gulf of México. *Journal of Geophysical Research*, 97(2):2185-2200
- Hakney, C. T., y E. B. Hines, 1980.** Stable carbon isotope composition of fauna and organic matter collected in a Mississippi estuary. *Estuarine Coastal Mar. Sci.*, 10: 703-708.

- Heck, K.L. Jr., y R.J. Orth, 1980.** Seagrass habitats: the role of habitat complexity, competition and predation in structuring associated fish and motile macroinvertebrate assemblages, p. 449-464. *In: V. Kennedy. Stuarine Perspectives.* Academic Press. 140 p.
- Herzig, Z. M., 1997.** Una política de conservación de los pantanos: una necesidad urgente. p. 101-131. *In: A. Toledo, A.V. Botello y M. Herzig (Eds). El Pantano: Una Riqueza que se Destruye. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo.* 140 p.
- Hitchcock, S.W., 1972.** Can we save our salt marshes? *National Geography*, 141(6):760-769.
- Hofmann, E.E. y S.J. Worley, 1986.** An investigation of the circulation of the Gulf of México. *Journal of Geophysical Research*, 91(12):14221-14236.
- Hopkinson, S.C. Jr. J.G. Gosselink, y R.T. Parrondo, 1978.** Aboveground production of seven marsh plant species in coastal Louisiana. *Ecology*, 59:760-769.
- Hornelas, O., 1975.** Comparación de la biomasa, densidad de algunos aspectos morfométricos de la fanerógama marina *Thalassia testudinum*. Koenig. 1805, en tres diferentes áreas geográficas del Golfo de México. Tesis profesional Fac. de Ciencias Univ. Nal. Aut. de México.
- Huh, O.K, W.J. Wiseman, Jr., y L.J. Rouse Jr., 1978.** Winter cycle of sea surface thermal patterns, northeastern Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 83(9): 4523-4529.
- Ibarra O. S., 1993.** Plantas marinas y pesquerías costeras. *Ciencia y Desarrollo*, 18(108):36-40.
- Jonson, D., J.D. Thompson, y J.D. Hawkins, 1992.** Circulation in the Gulf of Mexico from geosat altimetry during 1985-1986. *Journal of Geophysical Research*, 97(2):2201-2214.
- Jordan, E., 1979.** Estructura y composición de arrecifes coralinos en la región noroeste de la península de Yucatán, México. *An. Centro de Cienc. del Mar y Limn. Univ. Nal. Aut. de México.*
- Kitting, C.L., B. Fry, y M.D. Morgan, 1984.** Detection of inconspicuous epiphytic algae supporting food webs in seagrass meadows. *Oecologia*, 62:145-149.
- Kobelkowsky-Díaz, 1991.** Ictiofauna de las lagunas costeras del estado de Veracruz, p. 74-93. *In: M.G. Figueroa, C. Álvarez, S., A. Esquivel H. y M. E. Ponce (Eds). Físicoquímica y Biología de las Lagunas Costeras Mexicanas. Universidad Autónoma Metropolitana-Universidad Iztapalapa. Div. Ccias. Biol. y de la Salud.* 122 p.
- Kuenzler. E.J., 1974.** Mangrove swamp systems, p 346-371, *In: T.H. Odum, B.J. Copeland and E.A. McMahan (Eds). Coastal Ecological Systems of the United States. Vol I. Pub. The conservaion foundation. Washington D. C. NOAA.* 514 p.
- Kuhlmann, D.H.H., 1988.** The sensitive of coral reef to environmental pollution. *Ambio*, 17(1):13-21.
- Leipper. D.F., 1954.** Physical oceanography of the Gulf of Mexico, p. 119-142. *In: P.S. Galsoff (Ed). Gulf of Mexico: Its Origin, Waters and Marine Life. Fishery bulletin of the fish and wildlife service. Vol. 53. United States Government printing office. Washington, D.C.* 577 p.
- Lynch, S. A., 1954.** Geology of the gulf of mexico, p. 67-86. *In: P.S. Galsoff (Ed). Gulf of Mexico: Its origin, waters and marine life. Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service. Vol. 53. United States Government printing office. Washington, D.C.* 577 p.
- López-Portillo, J., y E. Ezcurra, 1989.** Response of three mangroves to salinity in two geofoms. *Functional Ecology*, 3:355-361.
- Lot, A., C. Vázquez-Yáñez, y F. Menéndez, 1975.** Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf of Mexico, p. 52.61. *In: G. Walsh. S. Snedaker and H. Teas (eds). Proc. Inter. Symp. Biology and Management of Mangroves. Institute of food and agricultural sciences. University of Florida Gainesville.* 519 p.
- Lewis, J.K., 1992.** The physics of the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97(2): 2141- 2142.
- Lewis, J.K., y A.D. Kirwan Jr., 1985,** Some observations of ring topography and ringing interactions in the Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research*, 90(5) 9017-9028.
- Lewis, J.K., y A.D. Kirwan Jr., 1987.** Genesis of a Gulf of Mexico rings as determined from kinematic analysis. *Journal Geophysical Research*, 92(C11):11727- 11740.
- Lewis, J.K. y A.D. Kirwan, Jr. y G.Z. Forristall, 1989.** Evolution of a warm-core ring in the Gulf of México: Lagrangian observations. *Journal Geophysical Research*, 94(6): 8163-8178.
- Lewis, J.K. y S.A. Hsu., 1992.** Mesoscale air-sea interactions related to tropical and extratropical storms in the Gulf of México. *Journal Geophysical Research*, 97(2): 2201-2228.
- Linch, S. A., 1954.** Geology of the Gulf of Mexico, p. 67-86. *In: P.S. Galsoff (Ed). Gulf of Mexico: Its Origin, Waters and Marine Life. Fishery bulletin of the fish and wildlife service. Vol. 53. United States Government printing office. Washington, D.C.* 577 p.

- Logan, B.W., 1969.** Carbonate sediments and reefs, Yucatan, shelf Mexico. The American Association of Petroleum Geologists. Mem. 11, 197 p.
- López, V., D.F. Ramos y G. Aguilera, 1986.** Condiciones hidrológicas en el norte de la península de Yucatán, en julio de 1984. Física y química del océano. *Seria de Marina. Inv. Ocean./F.Q.*, 3(3):16-22.
- Lot, A. y A. Novelo, 1988.** El pantano de Tabasco y Campeche: la reserva mas importante de plantas acuáticas de Mesoamérica, p. 537-547. *In: Proc. Symposium ecología y conservación del Delta de los ríos Usumacinta y Grijalva. INIREV. División Regional Tabasco, WWF. Brhm fonds UICN, ICT Gobierno del estado de Tabasco.* 714 p.
- Lugo H.J., 1985.** Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. *Boletín Instituto de Geografía Univ. Nat. Aut. Méx.*
- Lugo A.E. y G. Cintron, 1975.** The mangrove forest of Puerto Rico and their management p. 325-846. *In: Walsh S Snedaker and H. Tears (Eds). Proc. of International Symposium of Biology and Management of Mangroves. IFAS university of Florida. Gainesville, 846 p.*
- Macintyre. I. G., R.B. Burke y Stuckenrath, 1982.** Thickest recorded holocene reef section, isla Pérez cabe hole. Alacrán reef. *Mexico Geo.*, 5: 749-754.
- Margalef, R. 1977.** Ecología, Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España, 591 p.
- Marmer, H.A. 1954.** Tides and sea level in the Gulf of Mexico. P 101-18. *In: P.S. Galsoff (Ed). Gulf of Mexico: Its Origin, Waters and Marine Life. Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service. Vol. 53. United States Government printing office. Washington, D.C. 577 p.*
- Marotz, B. L., W.H Herke y B.D. Rogers, 1990.** Movement of gulf menhaden through three marshland rosetes in southwestern Louisiana. *North American Journal of Fisheries Management*, 10:408-417.
- Miller, R., 1986.** Geographical distribution of central america freshwater fishes. *Copeia*, 4: 773-802.
- Mctigue, T.A. y R.J. Zimmerman, 1991.** Carnivory vs herbivory in juvenile *Peneaus setiferus* and *P. aztecus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 151: 1-16.
- Moody, C.L. 1967.** Gulf of Mexico distributive province. *Am Assoc. Pet. Geo. Bull.*, 51: 179-199.
- Moore, K. A. y R.L. Wetzel, 1988.** The distribution and productivity of seagrass in the Therminos Lagoon, p. 207- 220 *In: A. Yáñez-Arancibia and J.W. Day, Jr. (Eds). Ecology of coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Términos Lagoon region. Inst. de Cienc. Del Mar y Limn. Univ. Nat. Aut. Méx. Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria. México 518 p.*
- Morrison, J.M. y W.D. Nowlin Jr., 1977.** Repeated nutrient, oxygen and density sections through the loop current. *Journal of Marine Research*, 35(1):105-129.
- Morrison, J.M., W.J Merrell Jr., R.M. Hey y T.C. Key, 1983.** Property distributions and deep chemical measurements within the western Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research*, 88(4):2601-2608.
- Niering, R. 1985.** Wetlands. The audubon society nature guides. Alfred A.Knopf, Inc. 638.p
- Nixon, S.W. 1980.** Between coastal waters. A review of twenty years of speculation and research on the role of salt marshes in stuarine productivity and water chemistry, p. 437-525. *In: P. Hamilton and K.B. McDonald (Eds). Estuarine and Wetland Processes whit emphasis on modeling. Plenum publishing Co. N.Y. 676 p.*
- NOAA, 1993.** Gulf of Mexico coastal and ocean zones strategic assessment: data atlas. Ocean assessment division/south fisheries. Center National Marine Fisheries Service/NOAA.
- NOAA, 1985.** National estuarine inventory. Data atlas. Physical and hydrlogic characteristic. United States Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Nowlin, W. D., 1972.** Winter circularion patterns and propety distributions, p. 3-52. *In: L.R.A. Capurro. and J.L. Reid (Eds). Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Vol. 2. Sect. 1. Circulation and water masses. Texas A & M University Oceanographic Studies 288 p.*
- Nowlin W.D. y J.M. Humbertz, 1972.** Contrasting smmer circulation patterns for the eastern gulfloop, p. 2-52. *In: L.R.A. Capurro. and J.L. Reid (Eds). Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Vol. 2. Sect. 1. The loop current and its variability. Texas A & M University Oceanographic Studies 288 p.*
- Odum. W.E. y E.J. Heald, 1972.** Trophic analyses of the estuarine mangrove community. *Bulletin of Marine Science*, 232(3): 672-738.
- Odum,W.E., C.C. Mclvor y T.C. Smith, 1982.** The Florida mangrove zone: a community profile. US. Fish and wildfile service. Office of biological services. Washington, D.c. FWS/OBS82/24.
- Orth, R.J., K.L. Heck, Jr y J. Van Montfrans, 1984.** Faunal communities in seagrass beds: a review the influence of plant structure and prey characteristics on predatorprey relationships. *Estuaries*, 7(4): 339-350.

- Pérez-Hernández, A. 1989.** Composición, zoogeografía y presión ambiental de la ictiofauna del sistema arrecifal veracruzano. Tesis de licenciatura. Univ. Veracruzana. 86 p. 8 anexos.
- Phleger, F.B., 1969.** Some general features of coastal lagoons, p. 526. *In:* A Ayala-Castañares, y F.B. Phleger, (Eds). Las Lagunas Costeras: Un Simposio. Mem. Simp. Lagunas Costeras (origen, dinámica y productividad) UNAM/UNESCO. México, D. F. Noviembre 28-30, 1967. 686 p.
- Pimentel D. y S. Estrada, 1986.** Hidrología de la zonda de Campeche, durante el mes de mayo de 1981. Física y química del océano. Secretaria de marina. Dirección general de oceanografía naval. *Inv. Ocean/F.Q.*, 3(3): 78-120.
- Raz-Guzmán M., A. y G. de la Lanza E., 1991.** Evaluation of photosynthetic pathways of vegetation, and of sources of sedimentary organic matter through $\delta^{13}\text{C}$ in Terminos lagoon, Campeche Mexico, *Anales Inst. Biol. Univ. Nat. Mexico. Ser. Bot.*, 62(1):39-63.
- Raz-Guzmán M., A., G. de la Lanza E., y L. Soto, 1992.** Caracterización ambiental y $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento, detrito y vegetación del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Rev. Biol. Trop.*, 40(2):215-225.
- Raz-Guzmán M., A. y G. de la Lanza E., 1993.** $\delta^{13}\text{C}$ of zooplankton, decapod crustaceans and maniphods from Términos lagoon, Campeche, (México) with referente to food sources and trophic position. *Ciencias Marinas*. 19(2): 245-264.
- Rojas Galaviz, J.L., A. Yáñez-Arancibia, F. Vera Herrera, y J. Day Jr., 1992.** Estuarine primary producers: Terminos lagoon a case study, p. 141-154. *In:* U. Seeliger (Ed). Coastal Plants Communities in Latin America. Academic press inc. New York. 392 p.
- Reséndez-Medina, A.M., y A. Kobelkowsky-Díaz, 1991.** Ictiofauna de los sistemas lagunares costeros del Golfo de México, México. *Universidad y Ciencia*, 6(15): 91-110.
- Rezak, R y G. Serpelf, E., 1972.** Carbonate sediments of the Gulf of Mexico. p. 263.280. *In:* R. Rezak, and J.H. Vernon (Eds). Contributions on the Geological and geophysical oceanography of the gulf of mexico. Vol. 3. Texas A&M University Oceanographic Studies. 303 p.
- Richards, W.J., T. Leming, M.F. McGowan. J.T. Lamkin, y S. Kelley-Fraga, 1989.** Distribution of fish larvae in relation to hydrographic features of the loop current boundary in the Gulf of Mexico. *Rapp. P.v. Reun. Cons. Int explor. Mer.*, 191:169-176.
- Sackett, W., 1981.** An evaluation of the effects of man-derived wastes on the viability of the Gulf of Mexico. p. 401-414. *In:* Richard A. Geyer (Ed). Marine Environmental Pollution, 2. Dumping and Mining Elsevier. Oceanography Series. 27 B, 574 p.
- Sather, J.H., y R.D. Smith, 1984.** An overview of mayor wetland functions and values. Fish and wildlif services. US. Department on the interior FWS/ OBS84/18. 68 p.
- Schamberger, M.L., y H.E. Kumpf, 1980.** Wetlands and wildlife values: a practical field approach to quantifying habitat values, p. 37-46. *In:* V.S. Kennedy (Ed). Estuarine Perspectives. Academic Press, Inc. 533 p.
- Schomer, N. S.M., y R. D. Drew, 1982.** Ecological characterization of the lower everglades, Florida Bay and the Florida Keys. Bureau of land management and fish and wildlife service. US. Departmen of interior biological services program. Report No. FWS/OSB82/ 58.1.264 P
- Sericano J., y T. Wade, 1990.** Coastal zones in the United States impacted by pesticides. Overview of the first three years of the NOAA. National status and trends mussel watch program. *In:* Mem. del Seminario Regional: Impacto del Uso Agrícola en la Contaminación de las Aguas. Organización de Estados Americanos (OEA). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Puerto Morelos, Quintana Roo, México 8-11 de mayo de 1990. 184 p.
- Soberon-Chávez G., y A Yáñez-Arancibia, 1985.** Control ecológico de los peces demersales: Variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia en la producción natural de los recursos pesqueros, p. 399-486. *In:* A. Yáñez-Arancibia (Ed). Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón. Progr. Univ. de Alimentos. Inst. Cienc. Mar y Limn. Inst. Nal. De Pesca. Univ. Nal. Aut. de México, México, D.F. 748 p.
- Thayer, G.W., y Ustach, 1980.** Gulf of Mexico wetlands: Values, state of knowledge and research needs. National marine fisheries center. Beaufort laboratory. Beaufort North Carolina, 25 p.
- Thayer, G.W, K. A. Bjorndal, J.C. Ogden, S.L. Williams, y J.C. Ziema, 1984.** Role of larger herbivores in seagrass communities. *Estuaries*, 7(4A): 351-376.
- Thayer, G.W., D.R. Colby, y W.F. Hettler, 1988.** The mangrove prop root habitat: a refuge and nursery area for fish, p. 15-27. *In:* Proc. del Symposium Ecología y conservación del Delta de los Ríos Usumacinta y Grijalva. INIREV. División regional de Tabasco, WWF. Brhm Fonds. IUCN, ICT. Gobierno del Estado de Tabasco. 714 p.

- Thorhaug, A., 1981.** Biology and management of seagrass in the Caribbean. *AMBIO*, 10(6):295-298.
- Torres-Orozco, R., 1991.** Los Peces de México, AGT Editor. S.A. México, 235 p.
- Turner, E.R., 1977.** Intertidal vegetation and comercial yields of penaeids shrimp. *Transp. Of Am. Fish. Society*, 106(5): 411-416.
- UNESCO, 1982.** Coral reef, seagrass beds and mangroves in coastal zone in the Caribbean. UNESCO Reports in Marine Science No. 23. reports of Workshop held at West Indies Laboratory, St. Croix, US Virgin Island, May, 133 p.
- Vargas-Maldonado, I., y A. Yáñez-Arancibia, 1987.** Estructura de las comunidades de peces en sistemas de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) de la Laguna de Términos, Campeche, México, *Anales Inst. Cienc. Mar y Limn. Univ. Nal. Aut. de México*, 14(2):181-196.
- Vargas, M., J., J.C. Stivalet, A. Pérez, y M.A. Román, 1989.** Fishes and corals of the mexican Atlantic reef formations. Museo de Zoología. Fac. Biol. Univ. Ver. Xalapa Veracruz, México 5p.
- Vera- Herrera, F., J.L. Rojas-Galavíz y A. Yáñez-Arancibia, 1988.** Pantanos dulceacuícolas influenciados por las mareas en la región de laguna de Términos: Estructura ecológica del sistema fluvio-deltáico del río Palizada, p. 383-402. *In: Proc. del Symposium Ecología y Conservación del Delta de los Ríos Usumacinta y Grijalva.* INIREV. División regional de Tabasco, WWF. Brhm Fonds. IUCN, ICT. Gobierno del Estado de Tabasco. 714 p.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal, J.M. Pérez, R.A. Morales, A. Rivera. L Zambrano, y R. Anaya, 1985.** Hydrographic evidence froth the sothhwest migration of a loop current ring in the Gulf of Mexico during january 1984. *EOS*, 66(40):924.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal, y A.F. Hernández, 1990.** Atlas Oceanográfico del Golfo de México. Vol. II. Grupo de Estudios Oceanográficos. Instituto de investigaciones eléctricas, 2: 691 p.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal, y J.M. Pérez-Molero, 1992.** Collision of the loop current anticyclonic ting against the continental shelf slope of the western Gulf Mexico. *Journal Geophysical Research*, 97(2): 2155-2172.
- Villalobos-Figueroa, A., 1971.** Estudios ecológicos en un arrecife coralino en Veracruz, México, p. 531-545. *In: Coloquio sobre Investigaciones y Recursos del Mar Caribe y Regiones Adyacentes UNESCO.* 606 p.
- Wakeman, J.M., P.R. Ramsey, y J.G. Stanley, 1990.** Population dynamics of black drum (*Pogonias cromis*) in the Gulf of Mexico. *Proc. Louisiana Acad. Sci.*, 53: 512.
- Wallcraft, A., 1986.** Gulf of Mexico circulation modeling study. Annual progress report: year 2. Mineral magement Service. Gulf of Mexico. OCS Regional Office, 94 p.
- Watzin, M.C., 1990.** Coastal barrier resources system mapping process, p. 21-26 *In: S.J. Kilarity, F.A. Cross and J.D. Buffington (Eds).* Federal Coastal Wetland Mapping Programs. A Report By The National Ocean Pollution Policy Board's Habitat Loss and Modification Working Group, US Fish and Wildlife Service, Region 8, Research and Development. 1849 Street. N.W. Washington, D.C.. 20240. 174 p.
- Wells, S.M., 1988.** Coral reefs of the world. Vol 1, p. 203-223. *In: Atlantic and Eastern pacific.* Prepared by the IUCN conservation monitoring centre. Cambridge, UK. in colaboration withhe United Nations Environment Programme. 370 p.
- Whigham, D.F. J. McCormick, R.E. Good, y R.L Simpson, 1978.** Freshwater Wetlands. Ecological Processes and Manegement Potential. Academic Press. New York, 1978, 378 p.
- William S.J. y A.H. Salienger, 1990.** Loss of coastal wetlands in Louisiana. Cooperative research to asses the critical processes, p. 139-144. *In: S.J. Kilarity, F.A. Cross and J.D. Buffington (Eds).* Federal Coastal Wetland Mapping Programs. A Report By The National Ocean Pollution Policy Board's Habitat Loss and Modification Working Group, US Fish and Wildlife Service, Region 8, Research and Development. 1849 Street. N.W. Washington, D.C.. 20240. 174 p.
- Yáñez-Arancibia, A., P. Sánchez-Gil., G. Villalobos y R. Rodríguez., 1985.** Distribución y abundancia de las especies dominantes en las poblaciones de peces demersales de la plataforma continental mexicana del Golfo de México, p. 315-398. *In: Yáñez-Arancibia (Ed).* Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón. Progr. Univ. de Alimentos. Inst. Cienc. Mar y Limn. Inst. Nal. De Pesca. Univ. Nal. Aut. de México, México, D.F. 748 p.
- Yáñez-Arancibia, A., 1986.** Ecología de la Zona Costera. Análisis de Siete Tópicos. AGT Editor S.A. México 198 p.
- Yáñez-Arancibia, A., y J.W. Day Jr., (Eds). 1988.** Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México. La región de la Laguna de Términos. UNAM-OEA, 518p.

- Yáñez-Arancibia, A., A. Lara- Domínguez, P. Sánchez-Gil., y H. Álvarez-Guillen, 1989.** Evaluación ecológica de las comunidades de peces en la laguna de términos y la sonda de Campeche, p. 323-356. *In:* A. Yáñez-Arancibia and J.W. Day, Jr. (Eds). Ecology of Coastal Ecosystems in the Southern Gulf of Mexico: The Therminos Lagoon Region. Inst. de Cienc. Del Mar y Limn. Univ. Nal. Aut. Méx. Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria. México 518 p.
- Zimmerman, R.J. y T. J. Minello, 1984.** Densities of *Peneaus aztecus* and other natant macrofauna in Texas saltmarsh. *Estuaries*, 7(4): 421-433.
- Zetler, B.D., y D.V. Hansen, 1972.** Tides in the Gulf of México, p. 265-276. *In:* L.R.A. Capurro. and J.L. Reid (Eds). Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Vol. 2. Texas A & M University Oceanographic Studies. 288 p.

