



Diagnóstico ambiental del Golfo de México

Margarita Caso, Irene Pisanty y
Exequiel Ezcurra (compiladores)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología
Instituto de Ecología, A.C.
Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies

ÍNDICE

Volumen 2

IV. MANEJO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

Perspectivas de la conservación en el Golfo de México <i>Roberto de la Maza y Amaya Bernárdez</i>	637
Hidrocarburos en el sur del Golfo de México <i>Gerardo Gold Bouchot</i>	657
Distribución y contaminación de metales en el Golfo de Mexico <i>Alfonso Vázquez Botello, Susana Villanueva Fragoso y Leticia Rosales Hoz</i>	683
Aprovechamiento y conservación del recurso camarón <i>Adolfo Gracia</i>	713
La sustentabilidad de las pesquerías del Golfo de México <i>Antonio Díaz-de-León, José Ignacio Fernández, Porfirio Álvarez-Torres, Oscar Ramírez-Flores y Luis Gerardo López-Lemus</i>	727
La pesca en el Golfo de México. Hacia mayores biomásas en explotación <i>Virgilio Arenas Fuentes y Lourdes Jiménez Badillo</i>	757

Hipoxia en el Golfo de México <i>Nancy N. Rabalais</i>	773
La condición reproductiva del camarón blanco <i>Litopenaeus setiferus</i> (Crustacea; Penaeidae): evidencias de deterioro ambiental en el sur del Golfo de México <i>Carlos Rosas , Edwin L. Cooper, Cristina Pascual, Roberto Brito, Rolando Gelabert, Teresa Moreno, Gustavo Miranda y Ariadna Sánchez</i>	791
Eutrofización costera en la península de Yucatán <i>Jorge A. Herrera-Silveira, Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli Ghinaglia, Francisco A. Comín y Chris Madden</i>	823
El delta del Misisipi: funcionamiento del sistema, impactos ambientales, y manejo sustentable <i>John Day, Paul Templet, Jae-Young Ko, William Mitsch, G. Paul Kemp, James Johnston, Gregory Steyer, John Barras, Dubravko Justic, Ellis Clairain, Russell Theriot</i>	851
La observación de impactos en el Golfo de México mediante imágenes de satélite <i>Raúl Aguirre Gómez</i>	883
Lineamientos para el programa regional de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y Caribe <i>D. Zárate Lomdó, A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz Pérez, A. Lara Domínguez, C. Ojeda de la Fuente, L. J. Morales Arjona y S. Guevara Sada</i>	899
Entre la ciencia y la política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México <i>Alejandro Toledo</i>	937
Los impactos de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas en la disminución de los humedales costeros en el delta del Misisipi <i>Jae-Young Ko, John Day, John Barras, Robert Morton, James Johnston, Gregory Steyer, G. Paul Kemp, Ellis Clairain y Russell Theriot</i>	961

V. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Hacia un manejo integrado del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México <i>Antonio Díaz-de-León, Porfirio Alvarez-Torres, Roberto Mendoza-Alfaro, José Ignacio Fernández-Méndez y Oscar Manuel Ramírez</i>	985
La normatividad de las zonas costeras y marinas <i>Aquilino Vázquez García</i>	1007
Monitoreo y vigilancia de las zonas costeras. Marco legal de las inspecciones de PROFEPA <i>José N. Iturriaga</i>	1033
Ambivalencias y asimetrías en el proceso de urbanización en el Golfo de México: presión ambiental y concentración demográfica <i>Cuauhtémoc León e Hipólito Rodríguez</i>	1043
La invención del Golfo de México <i>Sergio Guevara Sada</i>	1083

Cuarta parte
EL MANEJO DE LA ZONA COSTERA
DEL GOLFO DE MÉXICO

PERSPECTIVAS DE LA CONSERVACIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

Roberto de la Maza y Amaya Bernardez

ANTECEDENTES

Existen testimonios de que entre 1900 y 1940 los ecosistemas nativos del Golfo de México cubrían prácticamente toda la región desértica chihuahuense y la de matorrales tamaulipecos, casi toda la Huasteca, gran parte de la región Totonaca, la de Los Tuxtlas, el Istmo, una extensión significativa de la Sierra Madre Oriental, la costa de Tabasco y prácticamente todo Chiapas y Campeche y, los cuerpos de agua dulces, salobres y marinos estaban en un buen grado de conservación. La densidad de la población en la cuenca del Golfo de México era muy baja, presentándose en promedio menos de 10 habitantes por kilómetro cuadrado. Esta situación se debía principalmente a la presencia de enfermedades infecciosas, como el vómito negro y la malaria, que obligaban a la población a ubicarse en regiones menos adversas (Genin 1931: 531-532, Revel-Mouroz 1980: 9-55; Tyler-Townsend 1898: 13-14, 19-23, Challenger 1998: 37).

Revel-Mouroz (*op. cit*) explica que, hasta la década de los años treinta, la estrategia de colonización iniciada en la década de 1920 se había venido realizando con base en la irrigación y el establecimiento de poblaciones agrícolas en las regiones áridas que, en este caso, corresponden a los distritos de riego de la cuenca del río Conchos, en Chihuahua, así como en Coahuila (Don Martín, Nadadores), Nuevo León y Tamaulipas (San Juan, Purificación, Mante, etc.).

El autor mencionado resalta también que el crecimiento demográfico del país se multiplicó de forma acelerada, partiendo de los 18 millones de habitantes con que contaba el país en 1930 para llegar a los 48 millones del censo de 1970. Es importante observar que el aumento demográfico más intenso, así como la colonización del trópico húmedo del Golfo de México, coinciden con el advenimiento de la penicilina y otros antibióticos, que abatieron los problemas sanitarios endémicos de sus ecosistemas.

De esta forma, a partir de la década de los cincuenta, se realiza un cambio en las políticas de asentamiento, con el cual se busca desplazar a los campesinos sin tierra hacia regiones deshabitadas, sin importar su productividad, condiciones sanitarias y posibilidades de desarrollo y, más que tratar de desarrollar económicamente las áreas abiertas a la colonización, se trata de evitar que la población se concentre en las regiones productivas poniendo en desequilibrio su tenencia de la tierra y la paz social. De hecho, el autor define el poblamiento de gran parte del trópico húmedo del Golfo de México como una forma de conservar las ventajas de los terratenientes de los distritos de riego, ante la creciente demanda de tierra.

Paralelo a este proceso se implementa una serie de proyectos de desarrollo industrial que inician con la extracción de petróleo en la Huasteca y la región totonaca, y continúa con Tabasco, Chiapas y Campeche. El desarrollo industrial crea la necesidad de abrir vías de comunicación, que son utilizadas por los demandantes de tierras para acceder a los relictos de ecosistemas silvestres y establecerse en ellos. Para la década de los setenta, la extracción de petróleo se desplaza a la plataforma continental marina donde se establecen una serie de pozos en la Sonda de Campeche.

Como complemento de los megaproyectos entran los programas de desarrollo agrícola, emanados de la Revolución verde que se establecen en el río Papaloapan, La Chontalpa, el Uxpanapa, Pujal-Coy, el Valle de Edzná, etc., y que, si bien no dieron resultados tangibles en la generación de riqueza y elevación del nivel de vida de los habitantes de las regiones en donde se establecieron, sí han impactado cerca de veinte millones de hectáreas de ecosistemas nativos, principalmente selvas tropicales lluviosas y humedales tropicales.

Otro factor que intervino en el deterioro ambiental de esta vertiente fue el mecanismo deficiente que se estableció para el manejo del creciente volumen de las aguas negras y los desechos solubles de la industria que, por medio de un drenaje común, se mezclan con el agua de la lluvia y son transportados hacia los arroyos o ríos más cercanos. Igualmente, los pesticidas y

fertilizantes usados en la agricultura terminan, inevitablemente, en los cuerpos de agua y en el mar.

Además, el libre establecimiento de actividades productivas inadecuadas en las regiones montañosas, como la agricultura nómada y la ganadería extensiva, ha propiciado una intensa erosión que se ha venido manifestando por medio del azolvamiento de gran parte de las cuencas inferiores de los ríos, en casi todas las lagunas costeras y estuarios, así como en la infraestructura hidráulica.

En un intento por resolver los problemas ambientales, las diferentes administraciones federales iniciaron la tarea de establecer medidas para reducir el deterioro de los bosques, montañas y cuencas.

En 1923 se decretan con carácter de “inalienables e imprescriptibles” las reservas forestales nacionales que, en la región de estudio, se encuentran representadas por la Región Boscosa de San Luis Potosí, San Luis Potosí; y El Gavilán, Veracruz. Todas ellas se establecieron sobre terrenos nacionales que fueron sujetos a reparto agrario sin atender o abrogar su decreto.

En 1931 se decreta la Zona Protectora Forestal del río Tocuila en Orizaba, Veracruz, y en 1933 se complementa con la expedición de mecanismos similares en la cuenca superior del río Blanco y en la del río Carbonera en la misma región (cabe mencionar que esta cuenca tuvo una serie de deslizamientos por deforestación hace unos meses).

En 1934 se publica el acuerdo que establece zonas protectoras forestales para los distritos nacionales de riego, que en la vertiente del Golfo de México involucra la protección de las cuencas del río Tula y Tulancingo, en Hidalgo; Conchos y Florido, en Chihuahua y Durango; Sabinas y Nadadores, en Coahuila; Alto San Juan y Salinas, en Coahuila y Nuevo León; Mante y Purificación, en Tamaulipas y Actopan, en Veracruz.

En 1936 se expiden los decretos de los parques nacionales Los Mármoles, en Hidalgo y El Potosí, en San Luis Potosí. Para 1937 se establece la Zona Protectora Forestal de la Cuenca de la Laguna de Catemaco, en Veracruz y en el mismo estado se publican los decretos para el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, como parques nacionales.

En el año de 1938 se publican los decretos del Parque Nacional Cañón del río Blanco y de zonas protectoras forestales para las ciudades de Orizaba y Veracruz, en Veracruz; y la de la Cuenca Hidrológica del río Necaxa, en Puebla e Hidalgo. Al año siguiente, se expide un decreto similar para la ciudad de Zacualtipán, en Hidalgo.

En 1949, el ejecutivo federal publica el decreto que establece zonas protectoras forestales vedadas, para las cuencas alimentadoras de los distritos

de riego, que se sobrepone al acuerdo previo, sin abrogarlo, e implicaría la protección de más de quince millones de hectáreas en la vertiente que nos ocupa.

En teoría, el territorio protegido por estos decretos debería haber prevenido, en un alto grado, el mal uso de los suelos montañosos y la consecuente degradación de los suelos y las cuencas hidrológicas, con implicaciones favorables para el Golfo de México, destino final de todos sus afluentes. Desgraciadamente, estos ordenamientos nunca fueron cumplidos, ni administrados por las autoridades correspondientes, ni tomados en cuenta por las encargadas del reparto agrario, de tal manera que los territorios involucrados han sido entregados a la colonización y al establecimiento de actividades productivas tradicionales, muchas veces contrarias a la vocación natural de los terrenos y sin ninguna regulación especial (De la Maza 1998: 31-51).

PANORAMA ACTUAL DE LOS ECOSISTEMAS DEL GOLFO DE MÉXICO RELEVANTES PARA LA CONSERVACIÓN

México cuenta con 104 millones de habitantes y, la densidad de población en los estados del Golfo se ha multiplicado. Chihuahua, Coahuila y Campeche presentan hasta 30 habitantes por km², Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Oaxaca y Chiapas, hasta 70 mientras que Puebla, Hidalgo, Veracruz y Tabasco hasta 169. Para el año 2020, se espera que la población aumente a cerca de 122,000,000 de habitantes (De Alba y Reyes 1998: 61)

Esto tiene como consecuencia una sobre demanda del uso del suelo para las actividades agropecuarias, forestales y urbanas, así como en el aumento de la población que depende de actividades extractivas de la naturaleza (leña, pesca, carne de monte, recolección, etc.), y que ha ocasionado la extirpación de grandes áreas de ecosistemas nativos, por lo que México presenta el tercer lugar en deforestación en América. Cabe mencionar que la política alimenticia nacional desarrollada sobre todo en la década de los setenta y principios de los años ochenta, contribuyó de forma acelerada a destruir ecosistemas completos que abarcaban una enorme superficie de la región. Se calcula que siguiendo los lineamientos de la *autosuficiencia alimenticia* se desmontaron cerca de 20 millones de hectáreas, incluyendo varios millones de hectáreas de selva alta perennifolia. Tan sólo en el Uxpanapa se eliminaron más de medio millón de hectáreas de selva alta para destinarlas a arrozales, de las cuales además no se extrajo ninguna cosecha debido a la violencia característica de las lluvias en la región (Caamal y del Amo

1987: 195-210).

Asimismo han desaparecido las sabanas tropicales de Tabasco, el Istmo y Veracruz y la selva tropical lluviosa, que antiguamente se distribuía desde Córdoba y los Tuxtlas hasta la Selva Lacandona. Actualmente presenta menos del 10% de su distribución original y se considera en peligro de extinción como ecorregión y máxima prioridad regional de conservación. Se encuentran en la misma situación los manglares desde la Laguna Madre, hasta Alvarado, la cuenca de Cuatrociénegas y la del río Bravo, considerados como una ecorregión vulnerable, con riesgo medio de extinción y de alta prioridad de conservación regional (Dinerstein *op. cit.*: 38, Olson 1995: XIV).

Otros ecosistemas muy presionados, aunque no se tienen cifras de su situación, son las selvas subtropicales deciduas de Veracruz y Tamaulipas, el matorral xerófilo poblano, los matorrales de dunas costeras y el bosque mesófilo de montaña (Dinerstein 1995: 17, Challenger *op. cit.*: 37).

La explosión demográfica que se presenta en el estado de Chiapas, aunada a una situación social confusa y caótica, está presionando los remanentes de la Selva Lacandona, e incluso, se está desplazando hacia la Sierra Madre de Chiapas, así como a la vecina región del Istmo húmedo de Oaxaca, poniendo en peligro, también, los remanentes de la Selva Zoque.

La elevada tasa de deforestación se manifiesta en que el 78% de la superficie del país muestra algún grado de erosión, y que entre 60 y 80 millones de hectáreas la presenten entre severa y muy severa (Peña y Neyra 1998: 194). En el Golfo, es una de las razones de que se existan procesos de desertificación en la costa norte de Tamaulipas, en los límites de Coahuila y Nuevo León, en parte de la Huasteca y en casi toda la región totonaca, así como en la región de Sotavento (De Alba y Reyes *op. cit.*: 15, 19).

También es importante resaltar que la deforestación en la cuenca del Golfo de México ha ocasionado daños en la infraestructura de desarrollo; por ejemplo, la presa Miguel Alemán (Temascal) inaugurada en 1951, se azolvó completamente en sólo 30 años debido al aporte de sólidos de la cuenca superior del río Tonto, sujeta a una feroz agricultura nómada. Esta situación se puede presentar, a mediano plazo, en el sistema hidroeléctrico del río Grijalva, involucrando la generación de La Angostura, Chicoasén y Malpaso (De la Maza 1992: 266). La deforestación es también causa directa del fuerte incremento de sedimentos terrígenos en el Golfo de México, mismos que constituyen una severa amenaza para los ecosistemas costeros y marinos.

A la deforestación se suma el sobrepastoreo, que ha deteriorado la capa-

cidad de retención acuifera de los suelos lo que, aunado a la extracción de agua de los mantos freáticos ha causado que algunos ríos, como el Conchos en Chihuahua, no hayan presentado flujo a lo largo de su cauce en cerca de una década. Otros ríos que han tenido crisis en su flujo son el Soto la Marina en Tamaulipas y el Tancochín en Veracruz. La escasez de agua en las cuencas mencionadas se está manifestando en una acelerada salinización de los suelos (De Alba y Reyes *op. cit.*: 22).

La incontenible presión demográfica lleva aparejada también la falta de planeación del desarrollo urbano, lo cual ha generado especialmente en la franja costera del Golfo de México un crecimiento descontrolado, eclécticos e insuficientes servicios urbanos, industriales y portuarios, una actividad industrial con escasa regulación ambiental, y el incremento de la presión de uso sobre los recursos naturales al presentarse descargas crudas de aguas residuales municipales e industriales, dragados frecuentes en puertos, una construcción desordenada de infraestructura con elevado impacto ambiental, exacerbamiento de mantos freáticos para abastecimiento de agua, procesos de eutrofización significativos, entre otros. La falta de planeación se refleja también en los desarrollos turísticos de la región. No ha existido un ordenamiento de dicha actividad ni una planeación a mediano y largo plazo. La capacidad de carga turística no está definida y se observa un desarrollo descontrolado e incluso a veces innecesario de infraestructura turística. El crecimiento turístico poco eficiente de la región puede afectar no sólo al entorno ambiental sino también al introducir elementos de riesgo expresados a través de un incremento en la contaminación, una degradación de los ecosistemas, y una consecuente pérdida de atractivo turístico y de empobrecimiento de la población.

Las consecuencias de la ausencia de planeación urbana y turística se han reflejado en la degradación de ecosistemas relevantes: arrecifes coralinos frente al Puerto de Veracruz y Tuxpan, manglares de la cuenca del Papalopan, y humedales de Tabasco, lagunas costeras y estuarios desde Tamaulipas hasta Yucatán, por mencionar algunos.

En el Golfo de México es preciso destacar la actividad petrolera desarrollada por Pemex desde hace varias décadas. Vale la pena señalar que la cuenca del Gran Caribe, donde se sitúa geográficamente el Golfo, se considera uno de los espacios oceánicos de mayor densidad de líneas de transporte de hidrocarburos del mundo (Intergovernmental Maritime Consultative Organisation 1979). En las dos regiones marinas del Golfo se extrae más del 78% de la producción petrolera nacional, en tanto que la producción te-

restre en el sur del país, principalmente en Tabasco y Chiapas, contribuye con un 20% adicional. Tan sólo en las regiones marinas de explotación existen más de 150 plataformas marinas y 1,500 kilómetros de ductos submarinos (PEMEX 1999).

La extracción y explotación de hidrocarburos tiene impactos ambientales negativos asociados al desarrollo natural de la propia actividad y también riesgos inherentes, a pesar de la permanente innovación tecnológica. En el Golfo de México se han producido accidentes de considerable magnitud. Los accidentes de alto riesgo constituyen una constante amenaza para los ecosistemas de la región. En materia de explotación petrolera existe un pasivo ambiental que, si bien ha ido disminuyendo conforme la normatividad del país se ha hecho más estricta, es importante reconocer.

Otro factor muy importante que ha deteriorado la vertiente del Golfo de México es la contaminación. Se puede considerar que cualquier afluente que curse por una población, área agrícola tecnificada o desarrollo industrial, recibe contaminantes en mayor o menor grado. Cabe aclarar que las 20 cuencas hidrológicas más importantes del país se encuentran gravemente contaminadas (Challenger *op. cit.*: 44).

En el caso de contaminación de tipo industrial sobresale la cuenca del río Sabinas, Coahuila, que obedece a la explotación de minas de carbón, y la cuenca baja del río Coatzacoalcos, que presenta residuos de la industria azufretera y petroquímica establecida entre Jáltipan y el Golfo. Los desechos de los ingenios azucareros, o beneficios cafetaleros, son un problema común en casi todos los afluentes del Golfo de México.

La contaminación por pesticidas y herbicidas agrícolas es difusa, acumulativa y se presenta en casi todas las cuencas en diferentes concentraciones. Provoca diversos tipos de envenenamiento, o carcinogénesis, dependiendo del compuesto químico de los productos y ataca a todos los organismos que ingieran o vivan en el agua, o bien a quienes consuman la fauna acuática o los productos pesqueros de los cuerpos de agua contaminados (fauna silvestre, ganado, habitantes ribereños, comensales de restaurantes, etc.). Esta contaminación se intensifica abajo de cualquier área de agricultura tecnificada (granos, algodón, fruticultura, caficultura, etc.) y se acentúa cuando los afluentes presentan esteros con salidas intermitentes al mar, o en cuencas cerradas, lagunas y represas.

Un factor más de contaminación química son los detergentes, blanqueadores de ropa y cosméticos, a la que se suman sus envases. También se presenta en forma generalizada, afectando todas las cuencas y hasta sus

más humildes arroyos.

La contaminación por aguas negras es producto del drenaje de cualquier población y por ello, se presenta en cualquier afluente que reciba flujos de asentamientos humanos. Esta contaminación se agrava cuando las poblaciones en una cuenca presentan cientos de miles de habitantes, y se vuelve crítica en el caso de conurbaciones caóticas como en el caso de la cuenca Tula-Moctezuma-Pánuco que recibe el flujo de la zona metropolitana del Valle de México, la del río Santa Catarina, que recibe el aporte de aguas negras de Monterrey, o la que se presenta entre Nogales y Córdoba que ha convertido al río Blanco en uno de los afluentes más contaminados de la cuenca del Golfo. Se detectan coliformes fecales en muchos sistemas lagunares y cuerpos de agua de Campeche, Veracruz y Tabasco. A este tipo de contaminación obedecen, en gran parte, los procesos de eutrofización de las lagunas de Tampamachoco y Mandinga (INE 2000).

La contaminación marina y costera más conspicua proviene precisamente de las descargas de aguas residuales municipales, debido a la ausencia o ineficiencia de plantas de tratamiento de agua en las grandes ciudades de la región. La descarga directa de aguas residuales ha dado como resultado condiciones potencialmente peligrosas para la salud humana y el ambiente marino. En las costas mexicanas del Golfo de México prácticamente todas las poblaciones costeras descargan sus desechos domésticos en los ríos, estuarios, lagunas costeras y el mar sin ningún tratamiento previo (Botello *et al.* 1996).

Como consecuencia de lo anterior las lagunas costeras del Golfo de México se encuentran altamente presionadas, se ha detectado la presencia de metales, compuestos orgánicos persistentes e hidrocarburos, como se mencionó previamente, en los sedimentos de los principales sistemas lagunares costeros de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche.

La actividad pesquera ha sido otro factor de presión sobre los recursos naturales de la región. En el Golfo de México se ubica la segunda flota camaronera del país, donde se extraen también volúmenes importantes de especies comerciales de moluscos (sobre todo caracol) y de algunos otros crustáceos. El acceso desordenado a los recursos pesqueros ha deteriorado el hábitat y afectado ecosistemas marinos y costeros en parte del litoral de los cinco estados colindantes. La pesca es además motivo de conflictos sociales de consideración en regiones marginadas, donde el acceso a los recursos adquiere un mayor valor.

No son sólo los recursos pesqueros los que se ven presionados por un

acceso desordenado. La ausencia y/o la ambigüedad de los derechos de propiedad sobre la tierra fomentan la extracción descontrolada y alarmante de grava y arena en algunos puntos del Golfo, ocasionando serias alteraciones en la dinámica de transporte de litoral y en la línea de costa.

Finalmente, se observa en toda la región una evidente fragmentación de políticas públicas y de enfoques sectoriales, que obstaculizan las acciones de conservación. No existe integralidad en la política regulatoria de costas y océanos, de cuencas hidrográficas y de otras unidades territoriales, y se da una actuación fragmentada de las instituciones gubernamentales en los tres niveles de gobierno. Las herramientas de política ambiental, como el ordenamiento ecológico del territorio, el ordenamiento pesquero y la evaluación de impacto ambiental, tienen que cobrar un significado regional y aplicarse con mayor énfasis localmente.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Las áreas naturales protegidas representan una de las herramientas más sólidas y contundentes de la política ambiental, y constituyen el instrumento toral de la conservación. Conforman verdaderas instituciones dado que se comportan como unidades bien definidas de gestión territorial, tienen una sólida infraestructura jurídica de manejo, y cuentan con eficaces estructuras de organización local y una alta certidumbre. Propician además mecanismos de concurrencia entre los diferentes órdenes de gobierno, el sector privado y la población local, y resultan estratégicas como base de las políticas ambientales y de gestión pública integral.

Tienen como objetivo garantizar los alcances de los servicios ecológicos que prestan los ecosistemas, alcanzar la protección y conservación de todos los ecosistemas del país, conservar las áreas que proporcionan servicios ambientales estratégicos y su diversidad biológica, colaborar en detener y revertir los procesos de erosión y deforestación y en promover el uso sustentable de los recursos naturales, incluyendo la eficiencia en el uso del agua y la energía.

LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS FEDERALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Existen 12 áreas naturales protegidas federales en los cinco estados que colindan con el Golfo de México, de las cuales nueve cuentan con presupuesto, equipamiento y personal. Si se considera que el Golfo de México termina en Cabo Catoche, Quintana Roo, es necesario incluir también a Yum Balam,

que además comparte algunos ecosistemas con Río Lagartos.

ESTADO	ÁREA NATURAL PROTEGIDA	SUPERFICIE (HA)
Veracruz	PN Sistema Arrecifal Veracruzano. 24 de agosto de 1992 Recategorizada el 7 de junio del 2000.	52,239
Veracruz	RB los Tuxtlas 23 de noviembre de 1998	155,122
Veracruz	PN Cañón del Río Blanco* 22 de marzo de 1938	55,690
Veracruz	PN Cofre de Perote* 4 de mayo de 1937	11,700
Veracruz y Puebla	PN Pico de Orizaba* 4 de enero de 1937	19,750
Tabasco	RB Pantanos de Centla 6 de agosto de 1992	302,707

ECOSISTEMAS RELEVANTES

RESUMEN AMENAZAS

* Arrecife coralino.
 * Vegetación halófito.
 * Ecosistemas de dunas costeras nativas.

* Sedimentación
 * Descargas de aguas domésticas e industriales en crudo
 * Saqueo de material coralino y arena.
 * Chapopoterías naturales que incrementan sedimento en suspensión
 * Actividad y tráfico portuario (dragados, vertimiento aceites y combustibles, encallamientos)
 * Marea roja

* Selva baja caducifolia
 * Selva mediana perennifolia
 * Bosque mesófilo

* Incendios por quemas no controladas
 * Contaminación por fertilizantes y basura en arroyos presentes en el área.
 * Deforestación por tala clandestina.

* Selva mediana perennifolia
 * Bosque de pino y mesófilo de montaña

* Incremento asentamientos humanos.
 * Tala clandestina.
 * Incendios forestales provocados.
 * Contaminación de cuerpos de agua por actividad industrial.

* Bosque de pino
 * Oyamel

* Explotación de recursos (madera).
 * Tala inmoderada.
 * Falta de regulación en el uso del suelo.
 * Incendios forestales.

* Bosque de pino
 * Oyamel
 * Encino
 * Aile

* Creciente demanda de los recursos naturales.
 * Disminución de la superficie arbolada por el cambio de uso de suelo.
 * Incendios forestales.
 * Cacería furtiva.
 * Tala.

* Pantanos
 * Marismas
 * Selva baja subperennifolia
 * Manglar

* Fuerte contaminación generada principalmente por el desarrollo urbano y la actividad petrolera, que provocan retención de agua y desecación en los pantanos, así como modificación en el sistema hídrico.

(Continúa)

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESTADO	ÁREA NATURAL PROTEGIDA	SUPERFICIE (HA)
Campeche	RB Calakmul 23 de mayo 1989	723,186
Campeche	RB los Petenes 24 de mayo de 1999	282,858
Campeche	APFF Laguna de Términos. 6 de junio de 1994	705,017
Yucatán	RB Ría Celestún 19 de julio de 1979 Recategorizada el 27 de noviembre del 2000	81,482
Yucatán	RB Ría Lagartos 26 de junio de 1979 Recategorizada el 21 de mayo de 1999	60,347

ECOSISTEMAS RELEVANTES

RESUMEN AMENAZAS

*Vegetación acuática	* Cacería furtiva, (tortuga y lagarto).
*Palmares	*Incendios forestales
*Selva mediana (pukte)	
*Selva alta mediana y baja subperennifolia	*Contaminación generada por actividad turística.
*Vegetación hidrófita	*Cambio de uso del suelo.
* Manglar	*Impactos generados por el crecimiento de la mancha urbana.
* Matorral de zonas áridas	*Contaminación orgánica causada por desechos sólidos
* Selva húmeda perennifolia	* Amenaza de impactos causados por fenómenos naturales
* Selva subhúmeda caducifolia	
* Praderas de pastos sumergidos	* Azolve del sistema fluvio-lagunar provocado por la deforestación en la cuenca alta.
* Bosques de manglar	* Crecimiento urbano desmedido: contaminación del manto freático, eutroficación y contaminación de la laguna.
* Tular	* Fuerte presión por el material pétreo.
* Vegetación riparia.	*Extracción de arena que modifica línea de costa y provoca cambios al sistema hídrico.
* Popal	
* Sistemas hidrológicos	
* Sistema fluvio-lagunar	
* Manglar	* Conflicto por recursos pesqueros (Celestún-Isla Arena)
* Vegetación de dunas costeras	*Contaminación orgánica causada por desechos sólidos
* Petenes y sabana	* Impactos causados por fenómenos naturales.
* Tulares	
* Carrizales	
* Selva baja inundable	
* Selva baja Caducifolia con cactáceas	
* Selva baja caducifolia	* Incendios forestales
* Dunas	*Introducción de especies exóticas
* Costeras	*Ganadería extensiva
* Manglar	*Uso de plaguicidas y herbicidas
*Selva mediana	*Extracción de especies de flora ornamental

(Continúa)

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESTADO	ÁREA NATURAL PROTEGIDA	SUPERFICIE (HA)
Yucatán	PN Arrecifes Alacranes 6 de junio de 1994 Recategorizada el 7 de junio del 2000	333,769
Quintana Roo	APFF Yum Balam 6 de junio de 1994	154,052

*Áreas naturales protegidas sin presupuesto federal asignado.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas tiene como estrategia para la conservación y consolidación de las ANP de la región:

- Conservar las áreas que poseen servicios ambientales estratégicos, elementos de interés nacional, así como la biodiversidad marina y terrestre a través del diagnóstico, establecimiento y consolidación de las zonas.
- Fomentar los mecanismos y espacios de participación y corresponsabilidad social en la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y sus ecosistemas en las ANP, con los diferentes sectores de la sociedad involucrados.
- Fomentar el aprovechamiento, uso sustentable y conservación de la vida silvestre.

ECOSISTEMAS RELEVANTES

RESUMEN AMENAZAS

	<p>* Amenazas por el paso de huracanes y tormentas tropicales</p> <p>* Cacería clandestina.</p>
* Arrecife coralino	<p>* Pesca furtiva</p> <p>* Extracción de especies de flora y fauna arrecifal.</p> <p>* Impactos ocasionados por fenómenos naturales</p> <p>* Impactos a la zona de arrecifes ocasionada por el turismo.</p>
<p>* Selva tropical mediana-baja y bajas inundable</p> <p>* Bosque de manglar chaparro o mangle rojo</p> <p>* Humedales del norte en la península de Yucatán</p> <p>* Selvas tropicales</p>	<p>* Desarrollo turístico que puede incrementar contaminación del área.</p>

- Proteger la biodiversidad reconociendo los beneficios económicos que aporta al desarrollo de la sociedad y del país.
- Consolidar los esquemas de sustentabilidad financiera y turística de las ANP, a través de la instrumentación y permanente mejora del cobro de derechos por acceso a las ANP con vocación turística de la región.
- Impulsar nuevos mecanismos de conservación de la biodiversidad, como la certificación de tierras privadas para la conservación.
- Establecer nuevos decretos de áreas naturales protegidas en aquellas áreas, terrestres o marinas prioritarias para la federación, y realizar la redelimitación, recategorización, derogación o abrogación de las existentes.
- Promover y actualizar permanentemente información de las UMA en las ANP y establecer áreas de manejo sustentable de vida silvestre.

- Fortalecer y desarrollar proyectos de recuperación de especies prioritarias identificadas en alguna categoría de riesgo.
- Desarrollar e impulsar mercados verdes: redes de ecoturismo, comercialización de productos orgánicos, diversificación productiva.
- Introducir incentivos económicos y fiscales en las ANP: exención de impuestos (IVA o ISR) en proyectos de ecoturismo, exención del impuesto predial a propietarios que destinen sus predios a la conservación, etc.

LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO NATURAL DEL GOLFO DE MÉXICO A LARGO PLAZO

Se debe impulsar en la región un conjunto de políticas públicas que garanticen la permanencia del capital natural del Golfo, refuercen el desarrollo económico y mejoren la calidad de vida de su población. Las estrategias de conservación por tanto, tendrán que ligarse a la economía regional, para alcanzar los objetivos de sustentabilidad deseados.

ECOSISTEMAS RELEVANTES A CONSERVAR

En el Golfo de México existen ecosistemas que deben ser incluidos en algún esquema de protección, dada su relevancia ante la biodiversidad y los servicios ecológicos que prestan. Es preciso destacar los siguientes: sistema lagunar de Laguna Madre, Tamaulipas, los arrecifes coralinos frente a Tuxpan y los que se ubican en la Sonda de Campeche, la selva mediana y el bosque mesófilo de Otontepec, Veracruz, la selva zoque de Oaxaca, Veracruz y Chiapas, la selva y el bosque mesófilo de la Chinantla en Oaxaca, la selva alta de la región de Motzorongo, Veracruz, las selvas mixte y zapoteca del Istmo, los manglares de Alvarado y los bosques de la Sierra Madre Oriental de Tamaulipas.

SERVICIOS AMBIENTALES

El pago por servicios ambientales constituye una herramienta relativamente novedosa dentro de las acciones de conservación en México. Mediante su aplicación se induce a los propietarios, a conservar intacta la cobertura vegetal original del predio. Existe ya un fondo forestal creado por la CONAFOR cuyos recursos se destinarán a servicios ambientales en materia forestal y de

agua. Además de este fondo será preciso utilizar recursos económicos tradicionales, como pueden ser los que provienen del Programa de Empleo Temporal (PET) y del Programa de Desarrollo Rural Sustentable (PRODESA) para fomentar los servicios ambientales en ANP y en regiones prioritarias para la conservación. Se le daría prioridad a proyectos que conserven la vegetación original intacta antes que a aquéllos que pretendan rehabilitar predios deforestados, como ocurre actualmente. Con objeto de garantizar el abasto de agua mediante la conservación de las cuencas, se puede introducir el pago de servicios ambientales a propietarios que conserven bosques cuenca arriba.

INTEGRALIDAD Y ARMONIZACIÓN DE LA LEGISLACIÓN, NUEVOS MECANISMOS DE CONCURRENCIA

La regulación de los recursos naturales, sobre todo en la franja costera, se da mediante una evidente sobreposición de leyes, funciones y atribuciones de las instituciones a cargo de su aplicación, lo cual incrementa la complejidad jurídica y paradójicamente, crea vacíos importantes que dificultan los procesos regulatorios para la conservación del patrimonio natural. En el Golfo de México se debe armonizar la legislación de toda la región, creando un marco jurídico sólido que introduzca el concepto del manejo integral de los ecosistemas, de los recursos naturales, de la zona costera y de las cuencas, sin fronteras estatales o divisiones políticas ficticias.

Por su lado, resulta imperativo crear nuevos mecanismos de concurrencia que garanticen la inclusión de variables ambientales y la viabilidad ambiental de los planes de desarrollo urbano, de los planes de desarrollo turístico, y de proyectos especiales de desarrollo de infraestructura como pueden ser puertos, muelles, carreteras, aeropuertos, confinamientos, hoteles, entre otros. Se debe contar con acuerdos entre centros académicos o de investigación para programas de monitoreo, educación ambiental, conservación y acuerdos institucionales para incrementar vigilancia, y acuerdos de coordinación con gobiernos estatales y locales.

SOLIDEZ EN LA APLICACIÓN DE LA POLÍTICA AMBIENTAL

La preservación del capital natural de la región requiere de una sólida aplicación de algunos instrumentos estratégicos de la política ambiental: creación de nuevas áreas naturales protegidas y consolidación de las existentes, conti-

nidad de los mecanismos financieros recaudatorios y de control en ANP (cobro de derechos), fomento a la certificación de terrenos privados para la conservación, impulso a ordenamientos ecológicos del territorio en zonas de interés especial por su potencial turístico, urbano o industrial e impulso a ordenamientos regionales, ordenamientos pesqueros en zonas donde exista un aprovechamiento desordenado y/o exacerbado de los recursos pesqueros, inducción de un manejo de las pesquerías basado en el hábitat (que busque mantener o rehabilitar la estructura y función del ecosistema que albergue a las especies comerciales) y, en el caso de que el proyecto lo amerite, exigir manifestaciones de impacto ambiental de carácter regional.

RECREACIÓN

El ecoturismo debe impulsarse como un vehículo de desarrollo económico regional y también como un instrumento de sustentabilidad ambiental; sin embargo, para llevarse a cabo con éxito requiere ubicarse en un marco adecuado de regulación, ordenamiento y planeación, especialmente dentro de ANP. Su impulso es fundamental puesto que crea un círculo virtuoso entre la conservación y el fortalecimiento económico de la población al darle valor a una serie importante de servicios ambientales: la biodiversidad como patrimonio de la población, los servicios escénicos y paisajísticos, el hábitat de especies carismáticas, y el aporte de información biológica, cultural, evolutiva y ecológica que incrementa la calidad y el valor agregado de los productos turísticos y crea, por tanto, mayores oportunidades de recreación. El ecoturismo es una actividad de valorización intrínseca no consuntiva del capital natural dado que promueve el deseo de ver conservadas *per se* ciertas especies y ecosistemas, e implica una forma de uso con bajos costos de oportunidad al incrementar la eficiencia social y ambiental. Cabe destacar que representa una muy buena opción para internalizar beneficios ambientales, puesto que quienes conservan y usan los ecosistemas (comunidades, propietarios y operadores) son remunerados adecuadamente por la sociedad. El desarrollo planeado y ordenado de la actividad puede crear un nuevo marco regional de incentivos a favor de la conservación del patrimonio ecológico, fortalecido mediante el establecimiento de convenios institucionales con inversionistas y operadores, que permitan garantizar una derrama económica local, una capacitación permanente de las comunidades y un porcentaje de las ganancias producto de la actividad destinado directamente a proyectos de conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- Botello A., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz Gonzalez y S. Villanueva 1996. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. p. 25-44. En: A. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (eds.). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica, México
- Caamal, M. A. y R.S., del Amo 1987. La milpa múltiple como punto de partida del manejo de la sucesión secundaria. *Turrialba*, 37(1):195-210.
- Challenger, A. 1998: *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO-IBUNAM-Sierra Madre, México D.F., México.
- De Alba, E. y M. Reyes 1998. Contexto físico en: *La diversidad biológica de México, estudio de país*. CONABIO, México D.F., México.
- De la Maza, E. R. 1992. El uso del suelo en los Altos de Chiapas y sus perspectivas a mediano plazo. Memorias del Primer congreso internacional de mayistas. Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM, México D.F., México.
- 1998: Antecedentes históricos en: *Natura mexicana, Áreas naturales protegidas*. Banco de Comercio Exterior, México D.F., México. Pp. 31-51.
- Dinerstein E. 1995. *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. World Wildlife Found and The World Bank. Washington DC., EE.UU.
- Genin A. 1931: *Les français au Mexique, du XVI siecle a nos jours*. Nouvelles editions Argo, París, Francia.
- Instituto Nacional de Ecología 2000. Base de datos de calidad del agua en zonas costeras, 1996. México.
- Intergovernmental Maritime Consultative Organisation (IMCO). 1979. *Report on Study IV*. IMCO paper MP XIII 6. London, England.
- Olson D. 1995. *Freshwater biodiversity of Latin America and the Caribbean, a conservation assesment*. World Wildlife Found and The World Bank. Washington DC., EE.UU.
- PEMEX 1999: *Informe. Anuario Estadístico 1999*. PEMEX, México.
- Peña A. y L. Neyra 1998. Amenazas a la biodiversidad en: *La diversidad biológica de México, estudio de país*. CONABIO, México D.F., México.
- Revel-Mouroz, J. 1980. *Aprovechamiento y colonización del trópico húmedo mexicano*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Tyler-Townsend, C.H. 1898. Notas acerca de la biogeografía de México. *Anales del Museo Nacional de Ciencias*, México D.F., México. Tomo VI, apéndice.

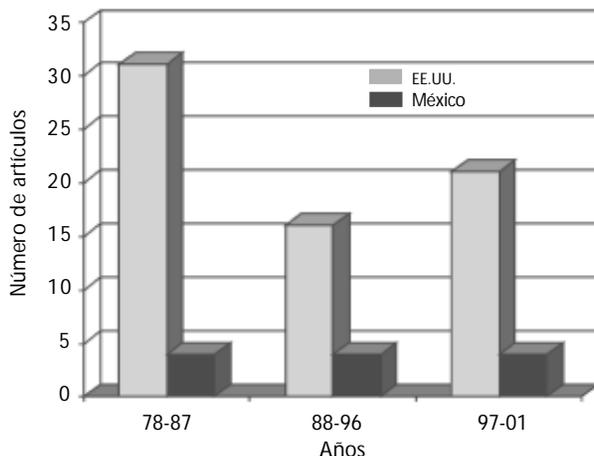
HIDROCARBUROS EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

Gerardo Gold Bouchot

INTRODUCCIÓN

La contaminación por petróleo es en particular uno de los tópicos más llamativos actualmente, por lo atractivo que resultan para los medios de difusión las imágenes de buques tanque derramando petróleo, y de aves y otros organismos cubiertos de brea, etc. En el sur del Golfo de México hay una polémica en la prensa, desgraciadamente sin bases científicas, sobre el papel que ha jugado la industria petrolera en la disminución —catastrófica en el caso de algunas especies— de la captura pesquera. Desgraciadamente este interés no ha ido acompañado de un aumento en las investigaciones sobre el efecto de los hidrocarburos en nuestros litorales. Una revisión bibliográfica usando la base de datos ASFA (*Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*) para el período 1977-2002 arrojó que se han publicado solamente 12 artículos en revistas de circulación internacional de investigadores mexicanos sobre la contaminación por petróleo en el Golfo de México (figura 1), lo que da un promedio de menos de 0.5 artículos por año; mientras que en el mismo período se publicaron 68 artículos en los Estados Unidos de América. Este es un número muy bajo, y desde luego no aporta la información sólida que se necesita para determinar el efecto real de la contaminación, y para tomar las medidas de manejo pertinentes que aseguren un desarrollo sustentable de los recursos.

FIGURA 1. NÚMERO DE ARTÍCULOS PUBLICADOS SOBRE CONTAMINACIÓN POR PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO POR AUTORES DE MÉXICO Y LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA



El bajo número de publicaciones también es indicativo del reducido número de laboratorios de contaminación funcionando en el litoral Atlántico de México, y las políticas de financiamiento de la investigación que no priorizan este tipo de estudios. También refleja el hecho de que hay una gran cantidad de información en la llamada “literatura gris”, esto es, reportes técnicos, tesis, etc. que no están disponibles públicamente, y por lo tanto no pueden analizarse.

El petróleo es una sustancia muy compleja, formada por miles de compuestos diferentes, principalmente hidrocarburos —compuestos formados únicamente por carbono e hidrógeno— metales, azufre, etc. También están presentes compuestos heterocíclicos, con la presencia de átomos de nitrógeno y oxígeno (Gold 2000). El petróleo se forma por procesos químicos que transforman material orgánico de diferentes fuentes, en ambientes geológicamente diversos. Esto ocasiona que haya diferencias notables en la composición de cada yacimiento, lo que complica aún más el ambiente por la presencia de decenas de productos de refinación tales como las gasolinas, diesel, aceites lubricantes, combustóleo, asfaltos, etc. (Wang y Fingas 2003).

A diferencia de otros contaminantes, entre los que destacan los plaguicidas, los fármacos y las sustancias de origen industrial, el petróleo es de origen natural por lo que muchos organismos están adaptados a su presencia e incluso hay bacterias y hongos que lo degradan. El petróleo puede llegar al mar a partir de diferentes fuentes, siendo la principal las operaciones asociadas al transporte por barco (National Academy of Science 1985).

Una vez que el petróleo ingresa al mar está sujeto a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que en conjunto se denominan *intemperismo*. Los principales procesos son:

Dispersión. Por estar compuesto por sustancias hidrofóbicas, el petróleo se dispersa sobre la superficie del agua, formando grandes manchas. Esto incrementa el área expuesta al sol, oleaje, etc.

Fotólisis. La luz del sol, principalmente la parte ultravioleta modifica el petróleo, formando principalmente productos de oxidación.

Emulsificación. El viento y el oleaje forman una emulsión de agua en aceite (Fingas y Fieldhouse 2003), conocida como “*mousse de chocolate*”, que al llegar a las playas forma las bolas de alquitrán comunes en todo el litoral del Golfo.

Evaporación. Este es un proceso muy rápido, que en unas cuantas horas puede separar hasta la mitad del petróleo derramado.

Adsorción. Por ser una sustancia hidrofóbica, el petróleo tiende a adsorberse sobre las partículas del sedimento en suspensión, así como sobre los organismos del plancton. Este proceso favorece la degradación del petróleo (Owens y Lee 2003).

Sedimentación. El petróleo se adsorbe sobre las partículas en suspensión, incluyendo al plancton, y eventualmente se sedimenta.

Biodegradación. Una serie de organismos, particularmente bacterias y hongos, pueden degradar el petróleo, e incluso se ha desarrollado una industria usando microorganismos para degradar manchas de petróleo derramado.

Todos estos procesos afectan de manera diferente la composición del petróleo, aumentando aún más su complejidad, lo que hace que el análisis químico y la evaluación toxicológica del petróleo sean muy complejas. Esto es particularmente importante cuando se trata de determinar el origen del petróleo que se encuentra en el ambiente para determinar posibles responsabilidades legales (Wang y Fingas 2003). Determinar de qué barco —o si es de los pozos o de filtraciones naturales— proviene un derrame es uno de los problemas más complicados en la química analítica ambiental.

Hay una serie de técnicas analíticas, desarrolladas en el campo de la geoquímica del petróleo para determinar la madurez, roca de origen, migración, etc. de los yacimientos petroleros. Estas técnicas se basan en el uso de biomarcadores moleculares tales como los perfiles de alquilación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular —como naftalenos y fenantrenos, —, los dibenzotiofenos, hopanos, norhopanos, etc. (Wang y Fingas 2003). Estos biomarcadores moleculares se han usado también exitosamente como indicadores de origen de los hidrocarburos en el ambiente, su grado de intemperismo, etc.

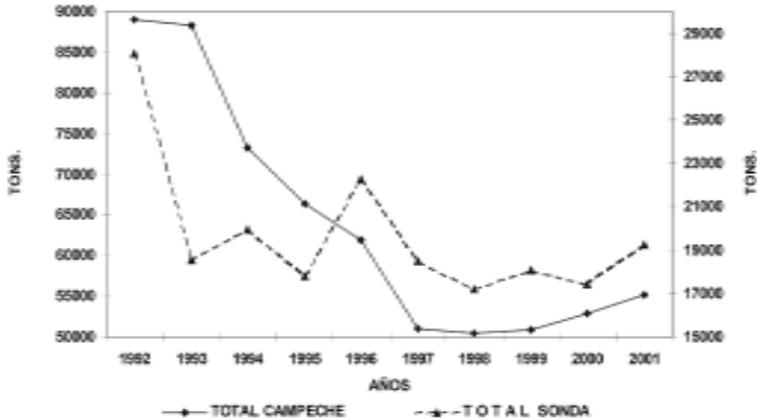
ANTECEDENTES

La zona de explotación petrolera en el Golfo de México abarca una superficie de varios miles de kilómetros cuadrados, que por su visibilidad, y por los grandes recursos que maneja la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos (Pemex), ha sido objeto de grandes controversias sociales, pues se le atribuye la disminución de las capturas de las principales especies pesqueras, incluyendo desde luego al grupo de especies de mayor valor comercial, que es el camarón. Sus capturas y en especial la de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), han disminuido dramáticamente en los últimos 20 años (figura 2), lo que ha ocasionado una gran presión social para resolver este problema, pues esta pesquería genera miles de empleos tanto en la pesca como en la industria empaquera.

Se asegura por los medios masivos de difusión y por los pescadores que la contaminación por hidrocarburos del petróleo, así como la prohibición de pescar dentro del área de explotación petrolera, han sido la causa de la caída de las capturas. Sin embargo, en foros académicos se han sugerido otras posibilidades como el cambio climático global, la disminución de la variabilidad genética, la sobrepesca y la captura de juveniles en aguas interiores, por lo que parece ser un problema multifactorial.

Ya que se han publicado un par de revisiones sobre el problema de la contaminación petrolera en las lagunas costeras de México, incluyendo al Golfo de México (Vázquez Botello *et al.* 1994), y las lagunas del sur del Golfo de México (Gold Bouchot *et al.* 1999a), este apartado revisará sobre todo el estado del conocimiento sobre los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés) y el efecto de la actividad petrolera en el sur del Golfo de México durante los últimos 13 años (desde 1990 a la fecha).

FIGURA 2. CAPTURAS DE CAMARÓN EN LA SONDA DE CAMPECHE, DE 1982 A 2001



HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS Y ORGANISMOS DE LAGUNAS COSTERAS Y BAHÍAS

Los sedimentos son el destino final de muchos contaminantes, y en particular de aquellos que son hidrofóbicos. En el cuadro 1 se presentan las concentraciones promedio de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en sedimentos de diferentes lagunas costeras y bahías del litoral Atlántico de México. También se incluyen, para comparación, la concentración considerada alta para el norte del Golfo de México por el Status and Trends Program de la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano (NOAA) de los Estados Unidos de América (O'Connor 1990), así como la concentración crítica reportada por Long y Morgan (1990), que es la concentración a partir de la cual se esperan efectos tóxicos sobre la biota.

En este cuadro hay varios resultados que son notables. Primero, que las concentraciones de PAH totales en varias lagunas costeras y bahías mexicanas, y en particular las del estado de Veracruz, rebasan el valor considerado como alto (2.4 µg/g) para el norte del Golfo de México por la NOAA (O'Connor, 1990). Segundo, en ningún caso la concentración promedio en las lagunas y bahías rebasa, o se aproxima, al valor crítico de Long y Morgan

CUADRO 1. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PAH TOTALES, ASÍ COMO DE ALTO Y BAJO PESO MOLECULAR, EN LAGUNAS COSTERAS Y BAHÍAS DEL LITORAL ATLÁNTICO MEXICANO

LAGUNA/BAHÍA	PAH (µg/g)	BPM* (µg/g)	APM§ (µg/g)	REFERENCIA
Chetumal	2.34	0.27	2.17	Noreña-Barroso <i>et al.</i> 1998.
Sian Ka'an	1.16	0.55	0.80	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1999b.
Salada	6.65	0.21	6.44	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Llano	5.00	0.31	4.69	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Mandinga	5.68	0.80	4.88	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Mancha	6.73	0.39	6.34	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Pueblo Viejo	3.81	1.12	2.08	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 1998.
Tamiahua	3.42	0.88	2.54	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 1998.
Tampamachoco	4.48	1.21	3.27	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 1998.
Mecoacán	0.95	N. R.	N. R.	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997.
Carmen	1.31	N. R.	N. R.	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997.
Machona	1.85	N. R.	N. R.	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997.
"Alto" EUA	2.4			O'Connor 1990
Crítico	35.0			Long y Morgan 1990

*BPM = PAH de bajo peso molecular; §APM = PAH de alto peso molecular; N. R. = No reportado.

(1990) de 35.0 µg/g, a partir del cual se considera probable que haya daños a la biota, por lo que no es probable que estos compuestos sean tóxicos para los organismos que habitan estos sitios.

Es común agrupar a los hidrocarburos aromáticos policíclicos de acuerdo con su peso molecular, para tener una indicación de su origen. Así, se agrupan las concentraciones de hidrocarburos de bajo peso molecular como la suma de las concentraciones de los hidrocarburos de dos y tres anillos bencénicos (naftaleno, bifenilo, fenentreno y antraceno, así como sus derivados metilados, principalmente). Los hidrocarburos de alto peso molecular son aquellos de cuatro y cinco anillos bencénicos (pireno, los benzo(x)pirenos, benzo(x)antracenos, perileno, etc.). Si la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular es mayor que la de los de alto peso molecular, se considera que estos compuestos se origi-

naron en el petróleo; mientras que si la situación es opuesta, esto es, si predominan los hidrocarburos de alto peso molecular se considera que se originaron en procesos de combustión incompleta (incendios forestales, chimeneas de fábricas, etc.), asfaltos de pavimentación de calles o provienen de productos de refinación del petróleo como los aceites para motor (Wade *et al.* 1994, Noreña-Barroso *et al.* 1998). En todos los ecosistemas costeros para los que hay información disponible, la concentración de PAH de alto peso molecular rebasa la de los PAH de bajo peso molecular, lo que indica que el petróleo no es la fuente de estos compuestos, sino aceites de motor y/o compuestos provenientes de la combustión incompleta de materia orgánica. Esto debe confirmarse por un análisis más detallado, usando otros biomarcadores geoquímicos (Wang y Fingas 2003).

Se pueden usar otros índices geoquímicos de origen de los PAH, como por ejemplo el grado y patrón de alquilación de los naftalenos, fenantrenos y antracenos, pero debido a que la mayoría de los estudios ambientales se enfocan en los PAH considerados prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, no es posible calcular otros índices, pues los compuestos necesarios no se cuantifican.

En el cuadro 2 se presentan las concentraciones promedio de PAH en organismos de diferentes ecosistemas costeros en el Atlántico mexicano.

En este cuadro se pueden ver los promedios de las concentraciones de PAH en ostiones (*C. virginica*) y bagres (*A. assimilis*). Los datos entre las dos especies no son directamente comparables, pues además de ser especies con

CUADRO 2. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PAH EN ORGANISMOS DE LAGUNAS COSTERAS Y BAHÍAS DEL LITORAL ATLÁNTICO MEXICANO

LAGUNA/BAHÍA	PAH (NG/G)	ORGANISMO	REFERENCIA
Carmen	232	<i>C. virginica</i>	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997
Machona	404	<i>C. virginica</i>	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997
Mecoacán	219	<i>C. virginica</i>	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997
Términos	1,900	<i>C. virginica</i>	Noreña-Barroso <i>et al.</i> 1999
Chetumal	77,000	<i>A. assimilis</i>	Noreña-Barroso <i>et al.</i> en prensa
Promedio STP	536	<i>C. virginica</i>	Jackson <i>et al.</i> 1994

diferencias metabólicas notables, en el caso de los ostiones los datos son para el tejido blando completo, mientras que para los bagres el análisis se hizo en el hígado, pero se incluyen para propósitos ilustrativos. Se incluyen también las concentraciones promedio para la misma especie obtenidas del Status and Trends Program de la NOAA.

El caso del bagre es notable que las concentraciones observadas son mucho más altas que para los ostiones; de hecho en esta especie se observó una alta incidencia de lesiones histológicas, e incluso tumores. Las concentraciones de PAH en ostiones son en general más bajas que las obtenidas por la NOAA para la misma especie en el norte del Golfo de México, con la excepción de la Laguna de Términos, donde se encontró una concentración promedio casi cuatro veces mayor que la reportada por la NOAA.

En los organismos no se puede usar la proporción entre PAH de alto y bajo peso molecular porque pueden haber procesos de bioacumulación y/o metabolismo diferencial que pueden afectar las concentraciones medidas de los PAH.

HIDROCARBUROS EN EL BANCO DE CAMPECHE

Se presenta una panorámica a dos escalas espaciales: a gran escala, abarcando todo el sur del Golfo de México y a pequeña escala, restringiéndose únicamente al área petrolera y sus alrededores.

A) Gran escala

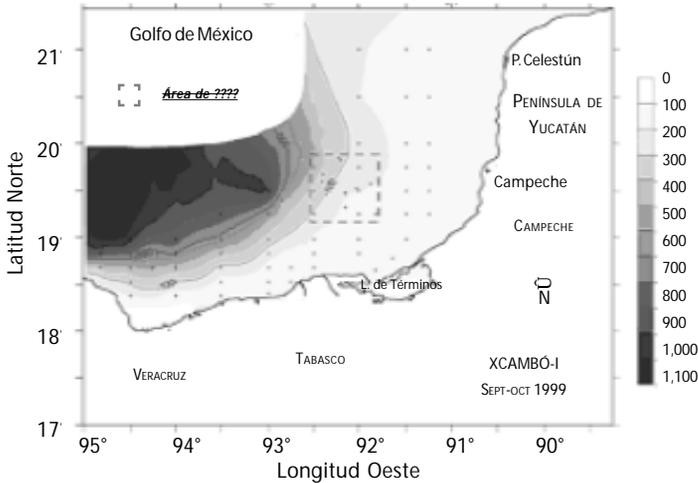
En la campaña oceanográfica Xcambó 1 se abarcaron 69 estaciones de muestreo, desde un poco al oeste de la desembocadura del río Coatzacoalcos hasta la costa occidental de la Península de Yucatán (figura 3).

En la figura 4 puede verse la distribución espacial de los hidrocarburos totales en el sur del Golfo de México.

Como puede verse, el máximo de concentración se encuentra en la zona de plataformas petroleras, indicando el posible impacto de las actividades de extracción sobre el ecosistema marino de la zona. Sin embargo, examinando los resultados de la fracción más tóxica, que es la de los PAH, se obtiene otra visión del problema.

Los resultados promedio de los PAH de bajo y alto peso molecular en sedimentos para la campaña Xcambó en 1999, así como en la campaña Camarón 1 en 2002, se presentan en la figura 5. Puede verse que predomina la concentra-

FIGURA 3. RED DE ESTACIONES DE MUESTREO DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA XCAMBÓ 1



ción de PAH de alto peso molecular en ambas campañas, lo que indica que la fuente principal de estos compuestos no es el petróleo, sino compuestos formados por combustión incompleta de materia orgánica y/o productos de refinación como los aceites para motores de combustión interna.

Un punto interesante es que esta proporción se mantiene constante en el tiempo, lo que indica que la(s) fuente(s) de estos compuestos permanece. Una indicación de cual es esta fuente se puede observar en la figura 6, que muestra la distribución espacial de los PAH de alto peso molecular.

A diferencia de los hidrocarburos totales, que tuvieron su máxima concentración en la zona de plataformas de PEMEX, las concentraciones máximas de PAH de alto peso molecular están frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos. Esta es la zona donde se localizan las refinerías más importantes del país, además de una zona urbana muy importante. La evidencia geoquímica por lo tanto apunta a que la principal fuente de PAH en el sur del Golfo de México no es la actividad de extracción en el Banco de Campeche sino las descargas de los ríos.

Otro contaminante comúnmente asociado a la extracción petrolera es el bario, que se usaba en forma de barita en los fluidos de perforación. Este

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES EN SEDIMENTOS EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

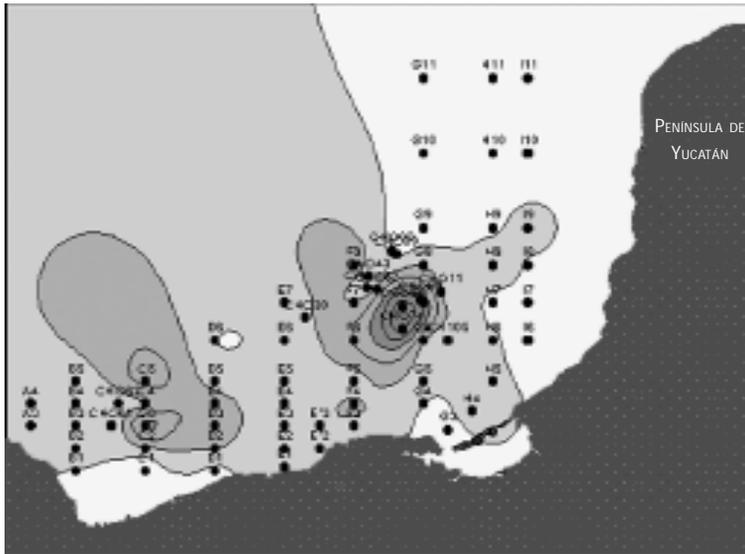


FIGURA 5. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PAH DE BAJO Y ALTO PESO MOLECULAR EN SEDIMENTOS DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO EN LAS CAMPAÑAS XCAMBÓ (1999) Y CAMARÓN (2002)

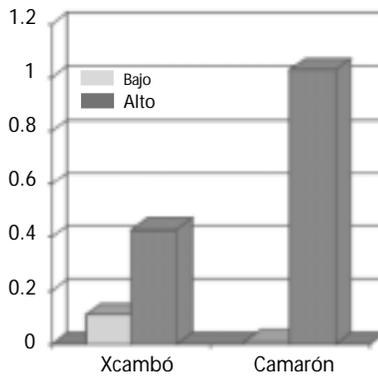
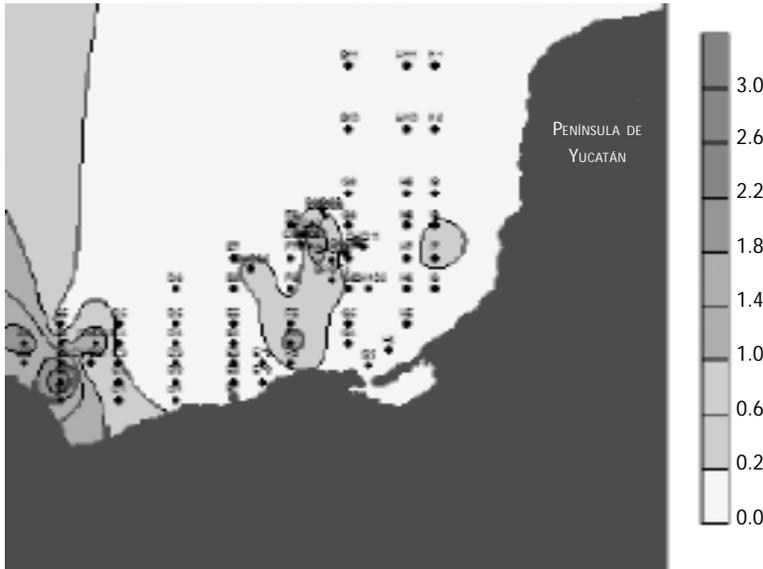


FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE PAH DE ALTO PESO MOLECULAR (CUATRO Y CINCO ANILLOS BENCÉNICOS) EN SEDIMENTOS DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO DURANTE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA XCAMBÓ 1 EN 1999.

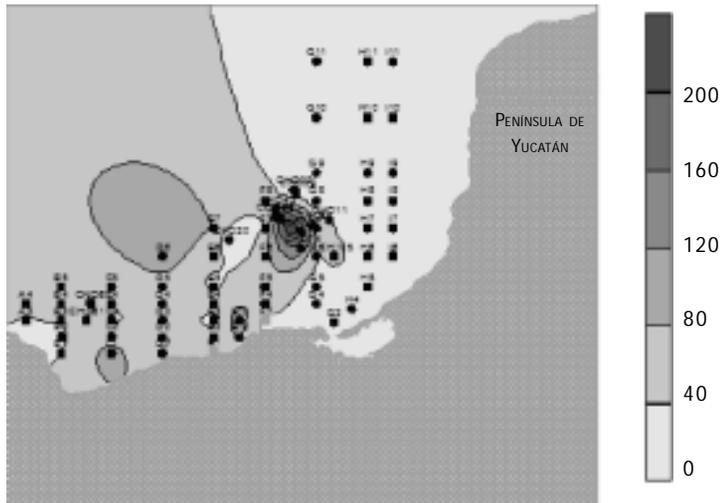


material se depositaba alrededor de los pozos y posteriormente se distribuía por toda la zona por las corrientes y el oleaje. La figura 7 muestra la distribución espacial del bario en sedimentos del sur del Golfo de México. La concentración mayor se obtuvo en el área de plataformas, confirmando que su origen fueron los lodos de perforación. Debe mencionarse que la barita ya no se usa en la perforación de pozos petroleros en México.

B) Pequeña escala

Esta sección se basa en los resultados obtenidos por Hernández Arana (2003) y Hernández Arana *et al.* (enviado). En 1999 y 2000 se realizaron dos campañas oceanográficas, usando un diseño de muestreo consistente en cuatro

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL BARIO EN SEDIMENTOS OBTENIDOS DURANTE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA XCAMBÓ EN 1999



transectos de 12 estaciones cada uno (figura 8). Dos transectos son paralelos a la costa, para ver el cambio de sedimentología en la zona de transición entre las provincias carbonatada y terrígena del Golfo de México; los otros dos transectos son perpendiculares a la costa, para ver el efecto de la profundidad.

La concentración de hidrocarburos a través de los transectos se incrementa notablemente dentro del área de plataformas (figura 9). La concentración de bario también se incrementa (figura 10), lo que indica que el origen del bario fueron las actividades de perforación de las plataformas.

Este argumento se fortalece si se ve la relación directa entre las concentraciones de hidrocarburos totales y las de bario (figura 11), pues la relación es directa y lineal. La evidencia geoquímica disponible parece apuntar a que la fuente de las altas concentraciones de bario en el Banco de Campeche proviene de las actividades de perforación que se realizaron hace tiempo.

Otros metales, como el cromo (figura 12) y el níquel también incrementan su concentración dentro del área de plataformas, lo que indi-

FIGURA 8. DISEÑO DE MUESTREO DE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS DE 1999 Y 2000, CON CUATRO TRANSECTOS A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS.

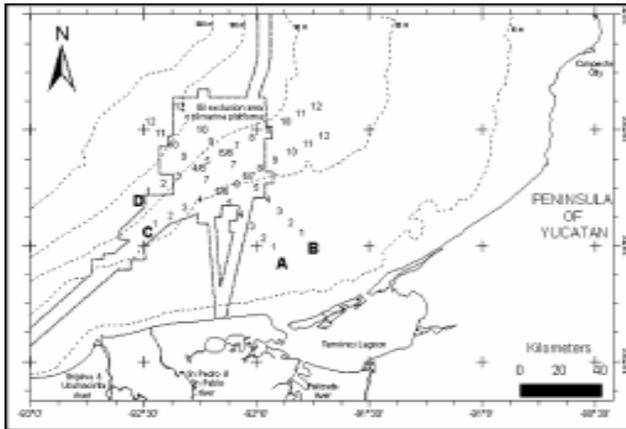


FIGURA 9. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS, A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL BANCO DE CAMPECHE.

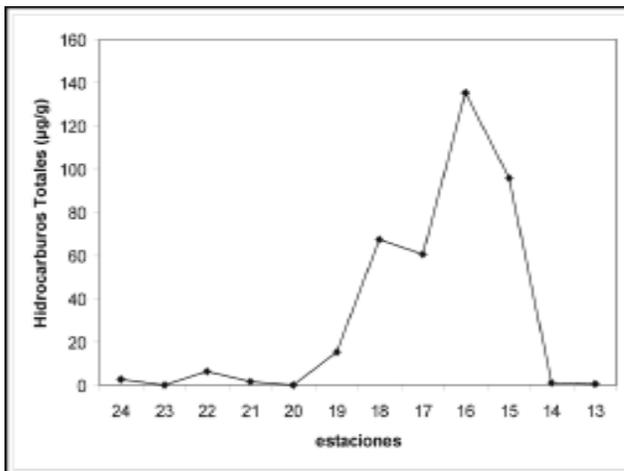


FIGURA 10. CONCENTRACIONES DE BARIO EN SEDIMENTOS, A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL BANCO DE CAMPECHE

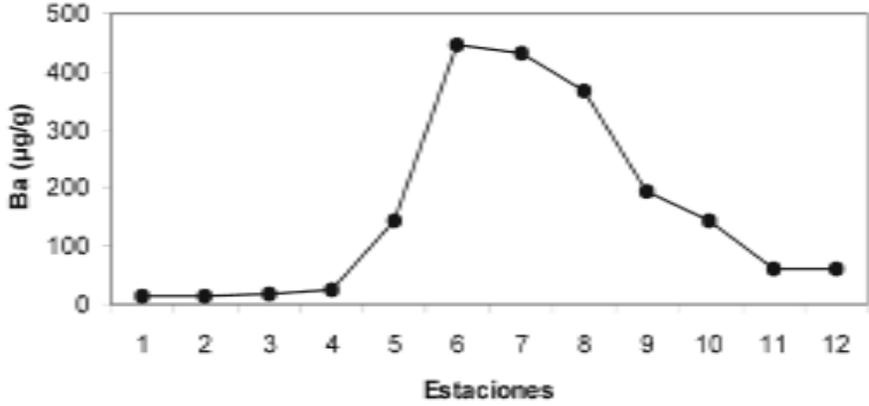


FIGURA 11. RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES Y BARIO EN LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL BANCO DE CAMPECHE

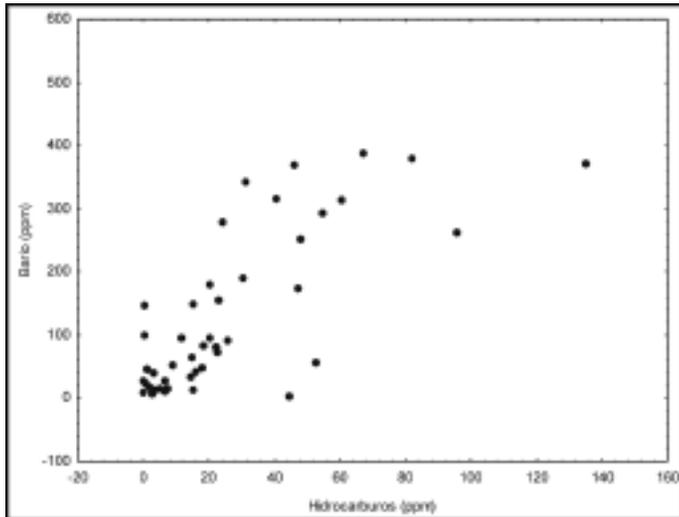
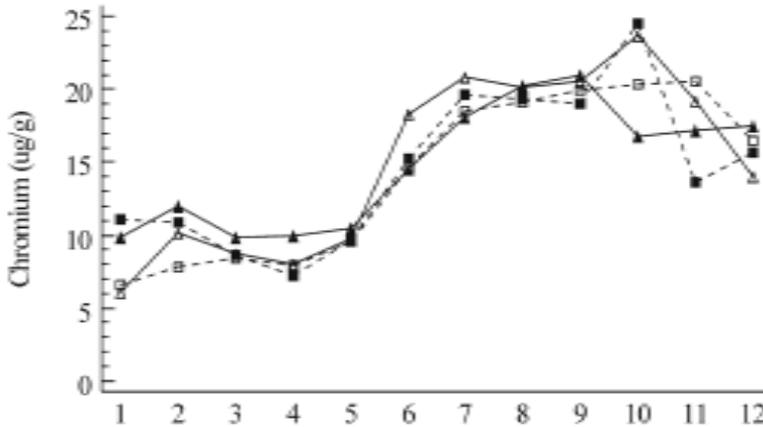


FIGURA 12. CONCENTRACIÓN DE CROMO EN SEDIMENTOS EN LOS CUATRO TRANSECTOS A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS EN EL BANCO DE CAMPECHE



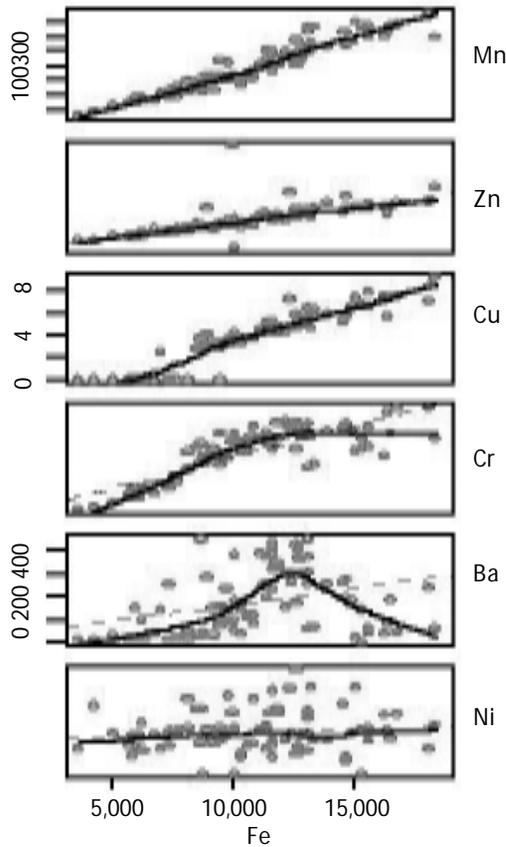
ca que su origen está en las actividades de perforación y extracción de hidrocarburos.

Hay otras técnicas geoquímicas que permiten determinar el origen de los metales. Si el origen de los metales es la matriz de los sedimentos, entonces se esperaría una relación entre las concentraciones de metales en los sedimentos y el hierro o el aluminio. Como puede verse en la figura 13, hay una relación lineal entre el manganeso, el zinc y el cobre con el hierro pero no con el bario, níquel y cromo, lo que indica que estos últimos metales se originan en la actividad de las plataformas.

Las concentraciones de estos contaminantes (hidrocarburos, bario, níquel y cromo) disminuyen respecto a la distancia de las plataformas, lo que confirma que su origen es en dichas plataformas. Con la información disponible no se puede determinar si continúa el aporte de estos contaminantes, o si el uso de tecnologías más limpias ha detenido este aporte.

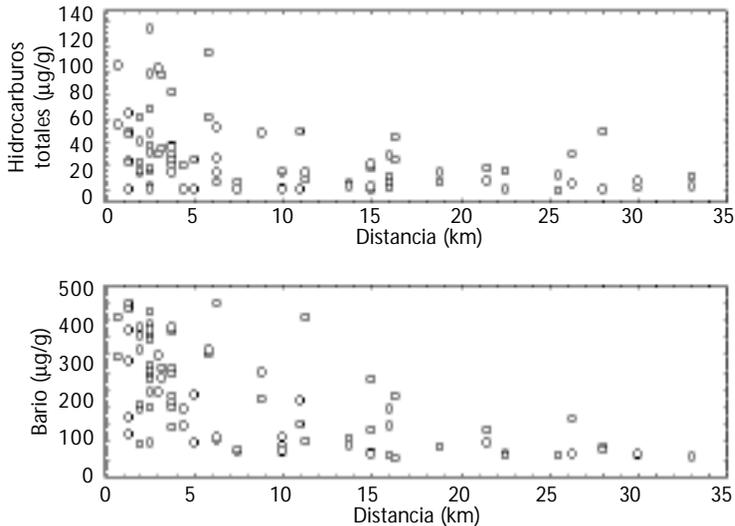
La figura 14 ejemplifica, para los hidrocarburos y el bario, la relación entre la distancia respecto a las plataformas y la concentración de estos contaminantes. Como puede verse en esta figura, la concentración disminuye conforme se aleja de las plataformas, sugiriendo que estas estructuras son el origen de los contaminantes. La disminución es relativamente suave, y a distancias

FIGURA 13. RELACIÓN DE METALES EN SEDIMENTOS CON LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN EL ÁREA DE PLATAFORMAS PETROLERAS EN EL BANCO DE CAMPECHE



considerables (más de 10 km) todavía las concentraciones observadas son elevadas respecto a los valores más alejados, a diferencia de lo que se observa en el Mar del Norte y costas de Luisiana y Texas, donde las concentraciones disminuyen en 3 km o menos de distancia a las plataformas.

FIGURA 14. RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES EN SEDIMENTOS Y BARIO EN RELACIÓN CON LA DISTANCIA RESPECTO DE LAS PLATAFORMAS PETROLERAS EN EL BANCO DE CAMPECHE



Efectos biológicos

Hay muy pocos trabajos en México donde se hayan estudiado los efectos biológicos de los hidrocarburos del petróleo u otras sustancias derivadas de la actividad petrolera. En particular, en esta sección se revisan aquellos estudios donde se evalúa en campo o con muestras ambientales el efecto de las actividades petroleras, y por restricciones de espacio no se discuten aquellos hechos con sustancias puras.

Gold y Herrera (1996) evaluaron el efecto de los hidrocarburos, y otras variables ambientales como la profundidad, la granulometría y el contenido de materia orgánica, sobre la estructura de la comunidad de nemátodos bénticos de vida libre en el Banco de Campeche durante cuatro campañas oceanográficas. Se realizó un análisis de conglomerados con las abundancias de nemátodos, encontrándose generalmente tres grupos de estaciones, que además eran contiguos geográficamente. Los resultados se confirma-

ron por medio de un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS).

El agrupamiento obtenido de las estaciones se trató de “explicar” por medio de un análisis múltiple de discriminantes. Se encontró que para los cuatro cruceros realizados la profundidad y el contenido de materia orgánica eran las variables que mejor explicaban el agrupamiento obtenido, mientras que en tres de los cuatro la concentración de hidrocarburos totales también era una variable explicativa. Esto significa que los hidrocarburos juegan un papel en la estructuración de la comunidad de nemátodos de vida libre, además de las variables ambientales.

Gold-Bouchot *et al.* (1995) reportaron que algunas fracciones de hidrocarburos y de metales tales como el cadmio, se asocian con la presencia de lesiones histológicas en los tejidos blandos de los ostiones (*Crassostrea virginica*) en las lagunas Carmen, Machona y Meocacán en el estado de Tabasco. También encontraron que el índice de condición de los ostiones disminuía con la concentración de contaminantes, sobre todo metales (Marín-Mézquita *et al.* 1997).

Rodríguez-Fuentes y Gold-Bouchot (2000) encontraron que los extractos de sedimentos de las lagunas el Yucateco y Santa Anita, en el estado de Tabasco, inhibían la acetilcolinesterasa de cerebro de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). La inhibición correlacionaba significativamente con la concentración de hidrocarburos en los sedimentos y era mayor en la época de lluvias que en la de secas.

Los bagres (*Ariopsis assimilis*) de la Bahía de Chetumal presentaron lesiones histológicas y, sobre todo lo más preocupante, tumores hepáticos cuya prevalencia se pudo asociar a la concentración de contaminantes orgánicos como PAH y plaguicidas en el hígado (Noreña-Barroso *et al.* en prensa). Adicionalmente, Zapata-Pérez *et al.* (2000) demostraron que los sedimentos de la bahía son tóxicos. Estos dos estudios son particularmente preocupantes porque la Bahía de Chetumal es un ecosistema crítico, que ha sido declarado zona protegida por ser zona de reproducción del manatí, y porque es un ecosistema compartido entre México y Belice, y es una de las dos áreas prioritarias, junto con el Golfo de Honduras, consideradas para el Programa del Sistema Arrecifal Mesoamericano.

Hernández Arana (2003) y Hernández Arana *et al.* (enviado) encontraron efectos de los contaminantes asociados a la actividad petrolera sobre la estructura de la macrofauna béntica del Banco de Campeche. Este efecto es difícil de detectar sobre la alta variabilidad de la estructura de la macrofauna

béntica inducida por los cambios estacionales y la descarga de los ríos (Hernández Arana *et al.* en prensa).

A principios de la década de los 1990 los pescadores de ostión y las autoridades de la entonces Secretaría de Pesca atribuían a la alta concentración de hidrocarburos una supuesta mortalidad de ostiones (*Crassostrea virginica*) en las lagunas costeras del estado de Tabasco. Un punto interesante es que las concentraciones de hidrocarburos en la Laguna de Términos (Gold-Bouchot *et al.* 1995) eran mayores que las concentraciones encontradas en las lagunas de Carmen, Machona y Mecoacán (Gold-Bouchot *et al.* 1995), sin que se reportaran mortalidades masivas. También las concentraciones de PAH son mayores en Términos que en las lagunas de Tabasco (ver cuadro 2). Las prevalencias del parásito *Perkinsus marinus* eran mucho mayores en las lagunas de Tabasco que en la Laguna de Términos, lo que es una posible explicación de la mortalidad diferencial en estas lagunas (Dra. Leopoldina Aguirre Macedo, comunicación personal). Alvarez-Legorreta *et al.* (1994) reportaron concentraciones muy altas de hidrocarburos en almejas (*Rangia cuneata* y *Polymesoda carolineana*) de la Laguna de Pom, en Campeche. Si se toman en cuenta las diferencias en bioacumulación entre las almejas y el ostión, las concentraciones encontradas en Pom son varias veces mayores que las encontradas en ostiones de las lagunas de Tabasco ó en la Laguna de Términos.

Nipper y Carr (2001) encontraron que alrededor del 80% de los sedimentos muestreados de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an son tóxicos. No se pudo atribuir a qué se debía esta toxicidad, pero los sedimentos de la reserva tienen concentraciones 70% mayores de hidrocarburos totales y concentraciones similares de algunos plaguicidas, como los hexaclorociclohexanos y clordanos, respecto a la Bahía de Chetumal (Gold-Bouchot *et al.* 1999b), que se considera un ecosistema altamente impactado. Esto es preocupante, por tratarse de un área protegida y además alejada de zonas agrícolas o industriales.

Los resultados obtenidos por investigadores mexicanos en el Banco de Campeche contrastan con los obtenidos recientemente en la zona petrolera del Mar del Norte (Grant y Briggs 2002), donde se encontró que los metales no ejercían efectos tóxicos sino que la toxicidad de los sedimentos se explicaba totalmente por los hidrocarburos presentes en el sedimento. Una posible explicación de esta diferencia es que en el Mar del Norte trabajaron con sedimentos muy cercanos a las plataformas petroleras —desde el centro de la plataforma hasta unos cuantos centenares de metros— mientras que los

estudios en México siempre se han realizado con distancias mucho mayores, de varios kilómetros. Otro factor es que los trabajos que se han hecho en nuestro país no se han diseñado para distinguir qué contaminante produce el efecto tóxico.

En una revisión reciente de los efectos de las actividades petroleras sobre los procesos ecológicos en ecosistemas templados y tropicales, Holdway (2002) concluye que para evaluar el impacto crónico y subletal de los desechos producidos por la extracción mar adentro del petróleo, son necesarios estudios de 10 a 20 años. Dado que actualmente en nuestro país no hay programas de monitoreo de la concentración de contaminantes tóxicos en las áreas costeras, menos aún se puede esperar tener estudios de tan largo plazo, lo que es preocupante. Es necesario buscar mecanismos que permitan el establecimiento de programas de monitoreo e investigación que permitan observar tendencias de largo plazo, eliminando la variabilidad inducida por los ciclos climáticos y biológicos.

Los pocos trabajos que se han realizado en nuestro país, indican que la actividad petrolera puede tener un efecto nocivo sobre los organismos que viven en nuestras costas. Sin embargo, la información disponible no permite concluir si la magnitud de los efectos observados es suficiente para concluir que la influencia de la actividad petrolera ha sido la causa de la caída de la captura pesquera —y otros deterioros ambientales frecuentemente atribuidos a Pemex— entre otras razones porque no hay información de largo plazo que permita cuantificar el efecto de la variabilidad natural sobre las respuestas biológicas.

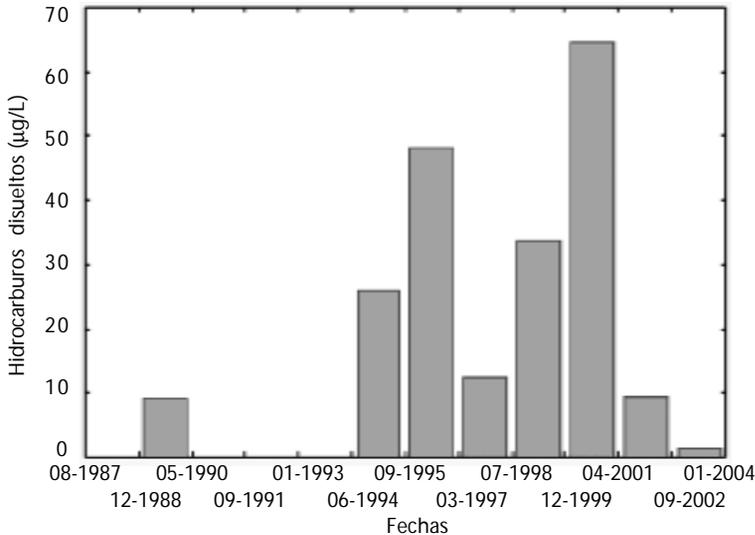
Monitoreo

Hasta donde se sabe públicamente, no hay ningún programa sistemático de monitoreo de hidrocarburos —o cualquier otro contaminante tóxico— en el Golfo de México. El único programa que el autor conoce es el que se realiza en Punta Venado, Quintana Roo, por la empresa Calicas Industriales del Carmen S. A. desde hace unos años (figura 15). Este monitoreo empezó desde 1988 con mucha irregularidad, pero ha sido razonablemente constante desde 1995.

Se han realizado más de 500 determinaciones de hidrocarburos disueltos/dispersos en agua del Caribe Mexicano y Golfo de México en el Laboratorio de Geoquímica Marina del Cinvestav Unidad Mérida usando siempre la misma técnica analítica, por lo que los resultados son comparables. La

distribución de frecuencia de los resultados, sorprendentemente no es log normal (figura 16). Transformando logarítmicamente los resultados se obtiene una distribución de frecuencias gaussianas (figura 17), con una media de $11.5 \pm 2.5 \mu\text{g/L}$. Basado en estos resultados se puede proponer como medida de manejo una concentración de referencia de $16.5 \mu\text{g/L}$ —el promedio más dos desviaciones estándar— pues esto dejaría fuera aproximadamente el 65% de las mediciones.

FIGURA 15. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE HIDROCARBUROS DISUELTOS/DISPERSOS EN PUNTA VENADO, QUINTANA ROO, DESDE 1988 HASTA LA FECHA



Aunque no forman parte de un programa sistemático de monitoreo, se han reportado una serie de resultados de concentraciones de hidrocarburos en sedimentos para el sur del Golfo de México. Estos resultados deben tomarse con un poco de cuidado, pues las áreas de estudio, así como las técnicas analíticas empleadas no son idénticas pero permiten tener una idea a largo plazo de la situación en esta región. La figura 18 muestra las concentraciones de hidrocarburos totales en sedimentos desde 1978 hasta la fecha.

FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE HIDROCARBUROS TOTALES DISUELTOS/DISPERSOS (EN $\mu\text{g/L}$) EN EL CARIBE MEXICANO Y GOLFO DE MÉXICO

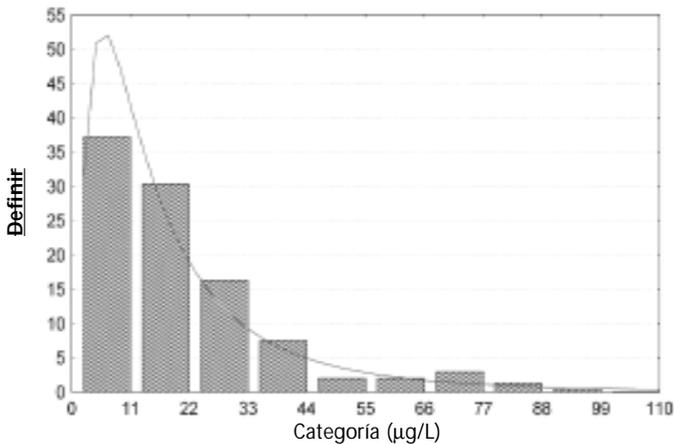


FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES DISUELTOS/DISPERSOS ($\text{LOG } X$) EN EL CARIBE MEXICANO Y GOLFO DE MÉXICO.

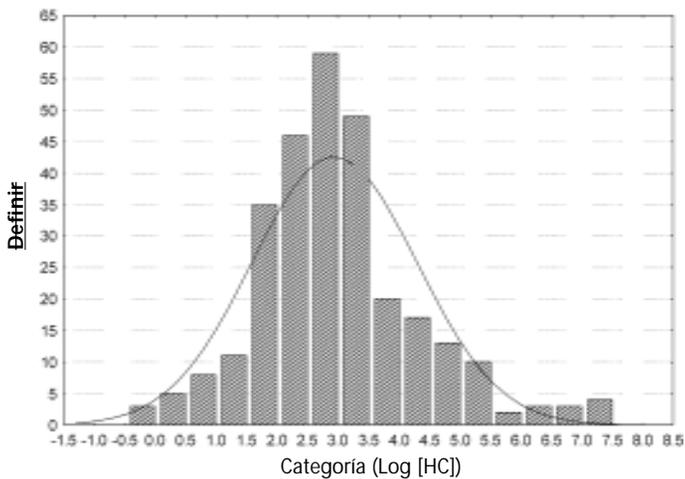
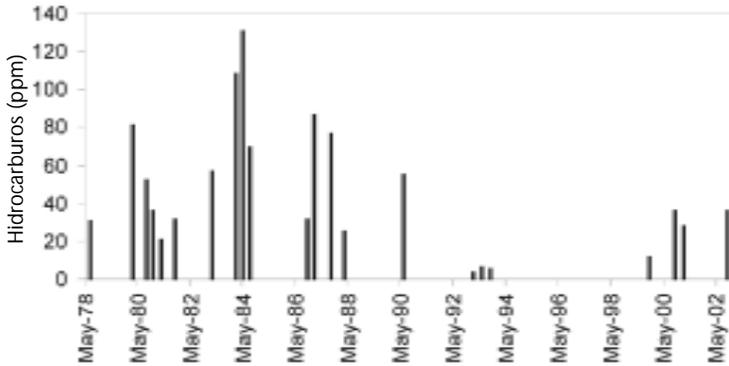


FIGURA 18. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE LOS HIDROCARBUROS TOTALES (EN $\mu\text{G}/\text{G}$) EN SEDIMENTOS EN DIFERENTES CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS, DESDE 1978 A LA FECHA



Temporalmente parece que ha habido una tendencia a disminuir las concentraciones. Esto puede ser debido a la creciente atención y presión sociales, y a la implementación de mejores regulaciones ambientales, que han impulsado una mejor operación de las instalaciones petroleras.

CONCLUSIONES

Hay pocos trabajos publicados en la literatura científica. Mucha información está en la “literatura gris”, sobre todo informes técnicos de proyectos y tesis que no están disponibles públicamente.

Las concentraciones de hidrocarburos totales en el sur del Golfo de México han tendido a bajar desde finales de los años 70 hasta la fecha.

Hay una fuente urbana e industrial de hidrocarburos pirogénicos, tanto en las lagunas costeras y bahías para las que hay información disponible como en el Banco de Campeche.

Algunos metales (Ba, Cr, Ni, V) están asociados, en el área cercana a las plataformas, a la actividad petrolera.

Se han detectado efectos de la actividad petrolera sobre la biota: nemátodos de vida libre, macrofauna béntica, ostiones (*Crassostrea virginica*) y bagres (*Ariopsis assimilis*).

Esto no necesariamente significa que los efectos a gran escala, como la caída de la pesca, sean producidos por la actividad petrolera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez-Legorreta T., G. Gold-Bouchot y O. Zapata-Perez 1994. Hydrocarbon Concentrations in Sediments and Clams (*Rangia cuneata*) in Laguna de Pom, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 52(1): 39-45.
- Fingas, M. y B. Fieldhouse 2003. Studies of the Formation Process of Water-in-Oil Emulsions. *Marine Pollution Bulletin* 47: 369-396.
- Gold-Bouchot G., E. Barroso-Noreña y O. Zapata-Perez 1995. Hydrocarbon Concentrations in the American Oyster (*Crassostrea virginica*) in Laguna de Terminos, Campeche, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 53(2): 222-227.
- Gold-Bouchot, G., R. Simá, O. Zapata, y J. Guemez 1995. Histopathological Effects of Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals on the American Oyster, *Crassostrea virginica*, from Tabasco, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 31(4-12): 439-445.
- Gold-Bouchot G. y M. Herrera-Rodríguez 1996. Efectos de los Hidrocarburos sobre la Comunidad de Nemátodos Bénticos de la Sonda de Campeche, México. En: Vázquez-Botello, A., Vázquez, F., Benítez, É., y Zárata-Lomelí, D. (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. EPOMEX, Serie Científica. P.279-296.
- Gold-Bouchot, G., M. Zavala-Coral, O. Zapata-Pérez y V. Ceja-Moreno 1997. Hydrocarbon Concentrations in Oysters (*Crassostrea virginica*) and Recent Sediments from Three Coastal Lagoons in Tabasco, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 59(3): 430-437.
- Gold-Bouchot, G., O. Zapata-Pérez, M. Herrera-Rodríguez, V. Ceja-Moreno, E. Noreña-Barroso y M. Zavala-Coral 1999a. Oil Pollution in the Southern Gulf of Mexico. En: Kenneth Sherman, Herbert Kumpf and K. Steidinger (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Assessment, Sustainability and Management*. P. 372-382. Blackwell Scientific.
- Gold-Bouchot G, Zapata-Pérez O, Ceja-Moreno V y del Río-García M. 1999b. Concentraciones de Compuestos Organoclorados (plaguicidas y PCBs) e Hidrocarburos en Sedimentos de la Reserva de Sian Ka'an, Quintana Roo. Reporte presentado a la Reserva de Sian Ka'an.
- Gold-Bouchot Gerardo 2000. El petróleo: Características e Impacto Ambiental. En: Payán Cervera, A. R., Salazar Sáenz, F. X. y Álvarez Álvarez, L. H. (coord.). *Petróleo, medio ambiente y sociedad*. Senado de la República, México, D. F.

- Grant, A. y Briggs AD. 2002. Toxicity of Sediments from Around a North Sea Oil Platform: Are metals or Hydrocarbons Responsible for Ecological Impacts? *Marine Environmental Research* 53: 95-116.
- Hernández Arana H A. 2003. Influence of Natural and Anthropogenic Disturbance on the Soft Bottom Macrobenthic Community of the Campeche Bank, Mexico. Ph. D. thesis. University of Plymouth, Plymouth, UK. 211 pp.
- Hernández-Arana H., Attrill M. J., Gold-Bouchot G. (en prensa). Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine and Coastal Shelf Science*.
- Hernandez Arana HA, Warwick RM, Attrill MJ, Rowden AA, Gold-Bouchot G. Submitted. Assessing the Impact of Oil Related Activities on the Benthic Macroinfauna Assemblages of the Campeche shelf, Southern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*.
- Holdway, DA. 2002. The Acute and Chronic Effects of Wastes Associated with Offshore Oil and Gas Production on Temperate and Tropical Marine Ecological Processes. *Marine Pollution Bulletin* 44(3): 185-203.
- Jackson TJ, Wade TL, McDonald TJ, Wilkinson, DL and Brooks, JM. 1994. Polynuclear Aromatic Hydrocarbon Contaminants in Oysters from the Gulf of Mexico (1986-1990). *Environmental Pollution* 83: 291-298.
- Long ER y Morgan LG. 1990. The Potential for Biological Effects of Sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. NOAA Office of Oceanography and Marine Assessment, Ocean Assessment Division, Seattle, Washington, EE.UU.
- Marin-Mézquita L, Baeza L, Zapata-Pérez O y Gold-Bouchot G. 1997. Trace Metals in the American Oyster, *Crassostrea virginica*, and Sediments from the Coastal Lagoons Mecoacan, Carmen and Machona, Tabasco, Mexico. *Chemosphere* 34(11): 2437-2450.
- National Academy of Science 1985. Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects. The National Academies Press. Washington, DC. 602 pp.
- Nipper, M. y R.Carr. 2001. Porewater Toxicity Testing: A Novel Approach for Assessing Contaminant Impacts in the Vicinity of Coral Reefs. *Bulletin of Marine Science* 69: 407-420.
- Noreña-Barroso, E., O. Zapata-Pérez; V. Ceja-Moreno y G. Gold-Bouchot 1998. Hydrocarbons and Organochlorine Compounds in Sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61(1): 80-87.
- Noreña-Barroso E., Gerardo Gold-Bouchot; Omar Zapata-Pérez y José L. Sericano 1999. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in American Oysters (*Crassostrea virginica*) from the Términos Lagoon, Campeche, México. *Marine Pollution Bulletin* 38(8): 637-645.

- Noreña-Barroso E, Simá-Alvarez R, Gold-Bouchot G y Zapata-Pérez O. En prensa. Persistent Organic Pollutants and Histological Lesions in Mayan Catfish *Ariopsis assimilis* from Bay of Chetumal, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*.
- O'Connor TP. 1990. Coastal Environmental Quality in the United States, 1990. Chemical Contamination in Sediment and Tissues. National Oceanic and Atmospheric Administration, Rockville, Maryland, EE.UU.
- Owens EH and Lee K. 2003. Interaction of Oil and Mineral Fines on Shorelines: Review and Assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 47: 397-405.
- Rodríguez-Fuentes G. y G. Gold-Bouchot 2000. Environmental monitoring using acetylcholinesterase inhibition in vitro. A case study in two Mexican lagoons. *Marine Environmental Research* 50(1-5): 357-360.
- Vázquez Botello A, Ponce Velez G, Villanueva Fragoso S y Rueda Quintana L. 1994. Contaminación. In: Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. De la Lanza Espino G y Cáceres Martínez C. (Editores). Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz Baja California Sur. 525 pp.
- Vázquez Botello A. y Calva LG. 1998. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua and Tampamachoco Lagoons in the Southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 60: 96-103.
- Vázquez Botello A, Calva LG y Ponce Velez G. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Coastal Lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67: 889-897.
- Wade TL, Velinsky DJ, Rainharz J. 1994. Tidal river sediments in the Washington D.C. area. II. Distribution and sources of organic contaminants. *Estuaries* 17(2): 321-333.
- Wang, Z y Fingas, M. F. 2003. Development of Oil Fingerprinting and Identification Techniques. *Marine Pollution Bulletin* 47: 423-452.
- Zapata-Pérez, Omar, R. Simá-Alvarez, E. Noreña-Barroso, J. Guemes, G. Gold-Bouchot, A. Ortega y A. Albores-Medina 2000. Toxicity of sediments from Bahía de Chetumal, Mexico, as assessed by hepatic EROD induction and histology in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Marine Environmental Research* 50(1-5): 385-391.
- Zapata-Pérez, Omar, Gold-Bouchot, Gerardo, Ortega, Arturo, López, Tomás y Albores, Arnulfo 2002. Effect of Pyrene on Hepatic Cytochrome P450 1A (CYP1A) Expression in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 42(4): 477-485.

DISTRIBUCIÓN Y CONTAMINACIÓN DE METALES EN EL GOLFO DE MÉXICO

*Alfonso Vázquez-Botello, Susana Villanueva-Fragoso
y Leticia Rosales-Hoz*

INTRODUCCIÓN

Los metales son constituyentes naturales de la corteza terrestre, de rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y agua. Sin embargo, en los años posteriores a la revolución industrial han ocurrido grandes cambios en su concentración natural debido a su uso extensivo en las actividades industriales y humanas.

Un claro ejemplo de lo anterior, lo constituye la cuenca del Golfo de México, en donde la presencia excesiva de algunos metales en sus ecosistemas costeros responde a la introducción de los mismos por procesos de contaminación y por aportes de ríos, entre los cuales se encuentran dos que forman los sistemas deltáicos más grandes del Golfo de México: el río Misisipi en Estados Unidos de América y el Grijalva-Usumacinta en México.

De manera adicional, éstos también contribuyen con grandes volúmenes de desechos tóxicos incluyendo metales, hidrocarburos del petróleo y contaminantes orgánicos persistentes como plaguicidas y PCB. Así, las actividades industriales y comerciales que se efectúan en los grandes complejos portuarios de Brownsville, Corpus Christi, Houston y Galveston en los Estados Unidos de América y los de Tampico-Madero, Altamira, Veracruz, Alvarado, Coatzacoalcos, Dos Bocas y Ciudad del Carmen en México, son fuentes potenciales de contaminantes al medio marino y costero.

En México existen 22 ríos que vierten sus aguas al Golfo de México; de éstos el más importante es el río Bravo, el cual sirve de frontera con los Estados Unidos de América, y en su cauce se han construido una serie de presas que regulan su aporte al Golfo de México. El segundo en importancia es el río Usumacinta, que si bien su cuenca es ligeramente más chica que la del río Panuco, tiene más escurrimientos por localizarse en una zona tropical.

Se ha calculado que alrededor de 95% de los metales transportados por los ríos son removidos y depositados en las márgenes oceánicas tales como los estuarios, la plataforma y la pendiente continental.

Estudios conducidos por más de 20 años en las costas del Golfo de México han demostrado la presencia de elevadas concentraciones de metales tóxicos como el Pb, Cd, Cr, y Ni, mostrando que los problemas más severos de la contaminación por metales ocurren en cuerpos de agua semicerrados particularmente en bahías, estuarios y lagunas costeras.

Aquí, los metales están disponibles en grandes concentraciones, dependiendo básicamente de la naturaleza y tipo de los sedimentos y de las características físico-químicas de las aguas.

Sin embargo, para conocer la conducta y el balance geoquímico de los metales, es necesario realizar estudios sobre su naturaleza química, su tiempo de residencia, su disolución, su remoción, su disponibilidad hacia la biota, su transferencia hacia los sedimentos, sus interacciones entre la fase acuosa y los sedimentos, su biomagnificación en diferentes niveles tróficos y sobre todo su toxicidad. Dichos estudios permitirán definir los efectos y alteraciones que los metales pueden producir en la biota y sus daños a la salud humana.

FUENTES DE ORIGEN

La mayoría de los metales empleados en las diversas actividades industriales manifiestan su presencia en las regiones costeras del Golfo de México, sobre todo en las cercanías de las refinerías de petróleo, de producción de fertilizantes, de minería y metalurgia, y desde luego en las cercanías de ciudades costeras con un gran número de habitantes. Las actividades de dragado para la perforación de pozos petroleros también emplean grandes cantidades de lodos que contienen metales como cromo y bario. De igual manera, las descargas domésticas sin tratamiento, aportan grandes volúmenes de lodos enriquecidos con metales como Pb, Zn, Cd y Cr, que se descargan en

los ríos o directamente en el mar.

Los metales también son introducidos en los ambientes marino y costero por el lavado de suelos; el intemperismo de las rocas; las erupciones volcánicas; el empleo de fertilizantes y plaguicidas en zonas agrícolas; y el desecho de fundidoras y plantas de cromado.

Estudios realizados en los últimos 50 km del río Coatzacoalcos muestran un contenido de material suspendido variable a lo largo del año; los valores más altos se encuentran en agosto, correspondientes a la época de lluvias donde se reportan valores promedio de 99.7 mg L^{-1} en agua de fondo (Bahena-Manjarrez *et al.* 2002:3). El contenido promedio más alto de metales disueltos fue en abril donde se reportan valores de 42 mg L^{-1} de Zn en superficie, 6.0 mg L^{-1} de Cu en superficie y 4.3 mg L^{-1} de Cr en agua de fondo. Aparentemente en este caso la concentración de metales disueltos está en función del caudal del río y de las descargas antrópicas que se llevan a cabo en el área.

La concentración de material suspendido en ocho ríos localizados en los Estados Unidos de América, que desembocan en el Golfo de México, mostró intervalos de concentración entre 12 y 954 mg L^{-1} . La concentración de metales en el material suspendido está en función del tipo de material; en este sentido no se observó una correlación entre los metales disueltos y el contenido de metales en el material suspendido (Turekian y Scott 1967:40).

En el cuadro 1 se presentan algunos valores sobre los porcentajes transportados de cada metal, asociados con el material en suspensión de algunos ríos que descargan al Golfo de México, según Páez-Osuna *et al.* (1987:29).

La mayoría de los metales son insolubles en agua a valores de pH neutros o básicos, pero son fácilmente adsorbidos en el material particulado o en

CUADRO 1. CONCENTRACIÓN DE CADA METAL TRANSPORTADO POR EL MATERIAL EN SUSPENSIÓN DE ALGUNOS RÍOS DEL GOLFO DE MÉXICO

	Río	Fe	Mn	Cu	Cd	Co	Pb
Palizada	99.6	95.8	64.6	19.7	13.6	74.2	
Candelaria	87.9	89.7	25.0	22.3	10.0	18.2	
Cruces	90.8	40.0	38.7	53.8	89.0	81.0	
Pinas	96.8	78.3	8.70	36.0	53.3	37.8	
Misisipi	99.0	98.0	90.0	83.0	97.6	—	

sedimentos, los cuales son el sitio final de depósito, y cuya concentración para algunos llega a ser 10^3 a 10^7 mayor que la columna de agua. Desde ahí, los metales son asimilados por los organismos bentónicos o forman complejos iónicos con aniones hidrosolubles.

De esta manera los análisis de metales en partículas suspendidas, sedimentos y organismos nos provee de una completa información sobre su origen, rutas, destinos y efectos, así como de su posible riesgo ambiental. Una de las principales características de los metales en los ecosistemas costeros es que los organismos pueden almacenar grandes concentraciones de un cierto metal (bioacumulación), y consecuentemente inducen a un incremento de las concentraciones del metal en niveles tróficos superiores (biomagnificación).

Así, en los océanos y las zonas costeras los organismos con hábitos bentónicos son los más afectados por la contaminación de algunos metales de naturaleza tóxica como el Hg, Pb, Cr, y Cd, los cuales reducen drásticamente su potencial de sobrevivencia y, en ocasiones propician su total desaparición.

NIVELES DE METALES EN SISTEMAS COSTEROS DEL GOLFO DE MÉXICO

En México, la creciente contaminación de las áreas costeras y marinas se está perfilando como una amenaza de elevadas proporciones. Por ello algunas instituciones realizan estudios orientados a evaluar los niveles y el comportamiento de los metales en matrices de agua y sedimentos sobre todo en las costas del Golfo de México.

AGUA

Las investigaciones que se han realizado sobre metales disueltos/particulados de áreas costeras del Golfo de México son escasas, debido al grado de dificultad que representa su cuantificación, el contenido, distribución y comportamiento de los metales en agua (Villanueva y Botello 1998:50).

SEDIMENTOS

Cadmio

Los datos que se presentan en esta recopilación, muestran que los valores promedio de Cd total en los sedimentos de siete sistemas costeros del estado de Veracruz (González 1995:9, Páez-Osuna *et al.*1986:28, Álvarez *et al.* 1986:1,

Rodríguez 1994:33) (figura 1), y catorce del estado de Tabasco (Botello 1996:4) son altos, principalmente en los núcleos de la laguna El Yucateco ($5.18 \mu\text{g g}^{-1}$) y la laguna Limón ($3.22 \mu\text{g g}^{-1}$) (figura 2). Como se observa en dichas figuras, todas las lagunas y ríos de los estados de Veracruz y Tabasco se encontraron por encima de la concentración mínima para producir efectos biológicos adversos a los organismos acuáticos (ERL $1.2 \mu\text{g g}^{-1}$) (Long *et al.* 1995:19).

BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES

A pesar de la gran utilidad que pueden tener los datos sobre la concentración total, resultan insuficientes como medida para evaluar el transporte y el tiempo de residencia de los metales en los sedimentos. Ello se debe a que una parte del contenido total de los metales reside en las partículas sólidas y minerales, y la otra es la forma biodisponible que se incorpora a los sedimentos, ya sea por medio de precipitación, floculación o adsorción (Loring 1979:18).

Esta fracción representa la porción que fue inicialmente intemperizada en las descargas inducidas por el hombre, otra parte puede derivarse de los iones que se liberan cuando se perturban las condiciones diagenéticas. Por consiguiente, esta fracción es la que está disponible para la acumulación en la biota acuática (Loring 1979:18, Luoma y Jenne 1976:20).

En las figuras 1 y 2, se observa que los intervalos de concentración del Cd total varía de $1.09 \mu\text{g g}^{-1}$ para la laguna de Mandinga a $2.18 \mu\text{g g}^{-1}$ en el río Coatzacoalcos y $2.2 \mu\text{g g}^{-1}$ en la laguna Salada y para la fracción biodisponible de $0.22 \mu\text{g g}^{-1}$ (río Blanco) a $1.37 \mu\text{g g}^{-1}$ (Laguna Sontecomapan). Todas estas áreas se encuentran ubicadas en el estado de Veracruz.

Se puede decir que la presencia de Cd en los sedimentos de las lagunas costeras de Veracruz se considera un componente normal de los sedimentos marinos y de las rocas fosfóricas (Largerwerff 1972:15), mientras que los altos valores detectados en la laguna El Yucateco y Limón (ambas en Tabasco), están directamente relacionados con las descargas urbanas, las características sedimentológicas y el contenido de materia orgánica del sedimento, el cual forma complejos orgánicos con el Cd, así como de los desechos industriales de estas zonas.

Plomo

Las concentraciones más altas que se han registrado de Pb total en sistemas costeros del estado de Veracruz, son en las lagunas que se encuentran cercanas a la planta nuclear de Laguna Verde: del Llano ($77.2 \mu\text{g g}^{-1}$), Salada ($78.8 \mu\text{g g}^{-1}$).

FIGURA 1. CONCENTRACIONES DE CADMIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

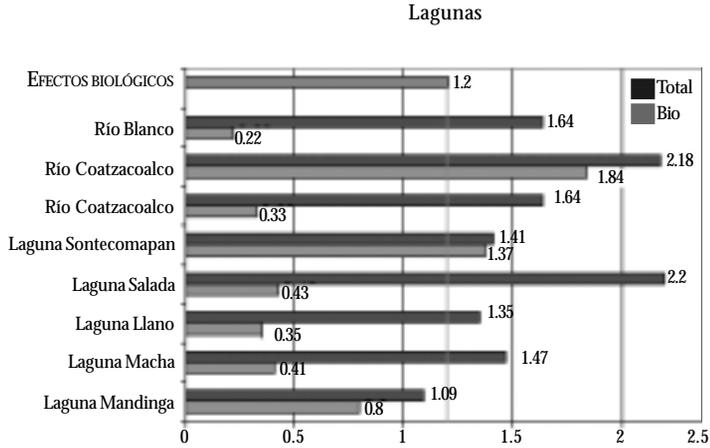


FIGURA 2. CONCENTRACIONES DE CADMIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

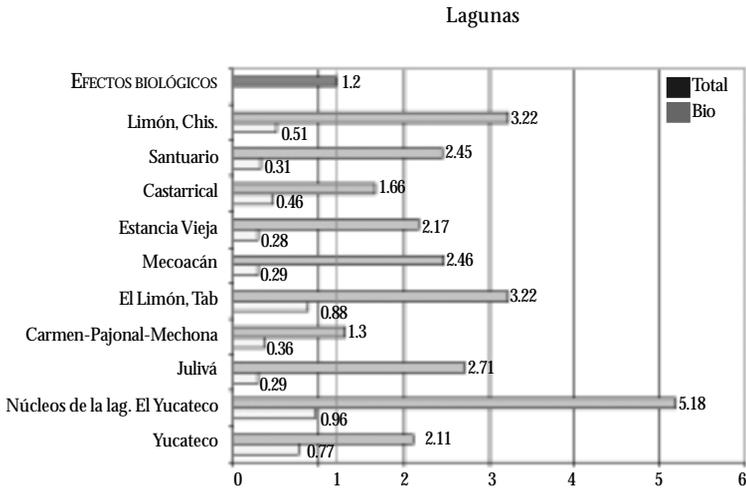
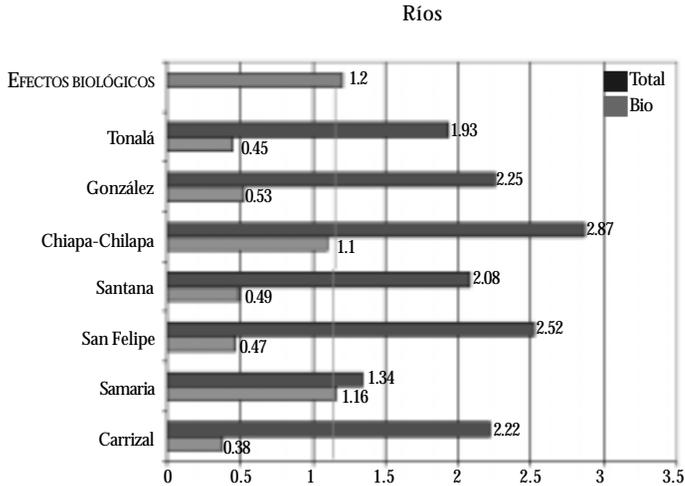


FIGURA 2. CONCENTRACIONES DE CADMIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ (*continúa*)



¹) y Mancha ($81.1 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rodríguez 1994:33). Mientras que la laguna Sontecomapan (González 1995:9), los ríos Coatzacoalcos (Villanueva y Botello 1998: 59) y Blanco (Alvarez *et al.* 1986:1) se encontraron por debajo del valor propuesto por Long *et al.* (1995:19) para que los organismos pudieran presentar algún efecto en sus tejidos que ERL de $46.6 \mu\text{g g}^{-1}$.

También se han evaluado las concentraciones de Pb biodisponible en dichas lagunas y presentaron los valores más altos ($11.6 \mu\text{g g}^{-1}$ a $21.4 \mu\text{g g}^{-1}$) (figura 3). Esto indica que los organismos, principalmente los moluscos-bivalvos de las citadas lagunas están severamente expuestos a la acumulación por Pb.

El valor más alto que se ha registrado de Pb (figura 4) corresponde a la laguna de las Ilusiones, (Tabasco) con $158.7 \mu\text{g g}^{-1}$ (Valencia, 1989: 41), así como la laguna El Yucateco ($117 \mu\text{g g}^{-1}$) (Botello 1996: 4); estos valores se pueden relacionar de manera directa con la continua introducción y en algunas ocasiones introducciones masivas de aguas residuales, así como de las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales de la ciudad de Villahermosa, las cuales se transportan a otras regiones del Golfo de México, dado que el Pb es volátil y tiende a depositarse en áreas

distintas a las de su origen, dependiendo del patrón de vientos que predominen en el Golfo de México (Valencia 1989: 41).

Esto también se puede comprobar para el área del río Coatzacoalcos, en donde el Pb se dispersa como PbO y $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$, llegando de este modo al río, ya que este metal se utiliza como un subproducto de la fabricación del antidetonante mexoctano. Así, el efluente tal y como sale de la fábrica, se recibe en un pozo de lodos donde se decantan los sólidos y se recupera el metal, y el líquido sobrenadante es enviado al río Coatzacoalcos a través de un ducto que penetra al río; la descarga del Pb a través del ducto es intermitente, dando como resultado que la acumulación sea continua (Ochoa *et al.* 1973: 26).

Al comparar las concentraciones de estos sistemas, se observa que se encuentran por arriba del valor establecido por Long *et al.* (1995:19) para que los organismos tengan algún efecto adverso en sus tejidos que es ERL: $46.6 \mu\text{g g}^{-1}$ hasta en un 150% (figuras 3 y 4).

Cromo

La laguna del Ostión ($140.7 \mu\text{g g}^{-1}$) (Villanueva y Botello 1992:50) y la laguna de Alvarado ($159.7 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rosales *et al.* 1986: 35) ambas en el estado de Veracruz y las lagunas El Limón ($249 \mu\text{g g}^{-1}$) y Julivá ($223 \mu\text{g g}^{-1}$) en Tabasco

FIGURA 3. CONCENTRACIONES DE PLOMO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

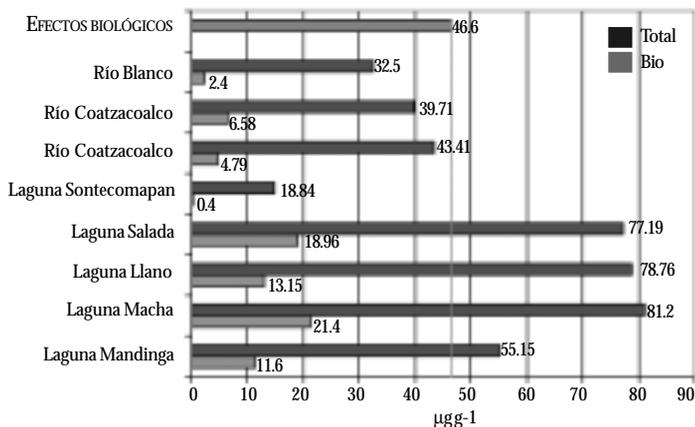
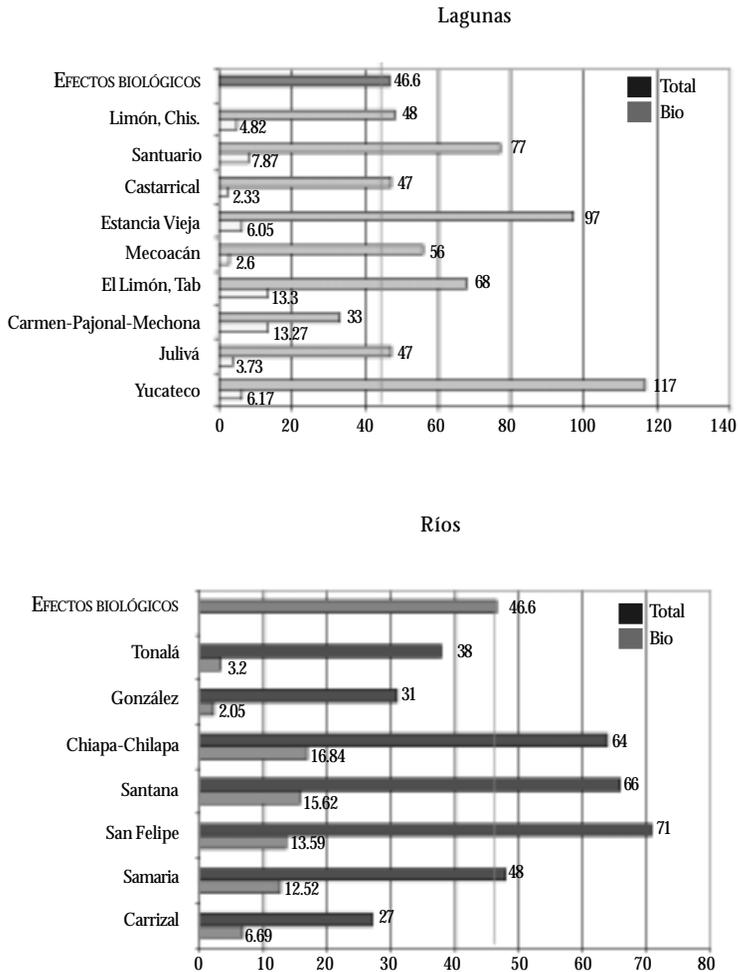
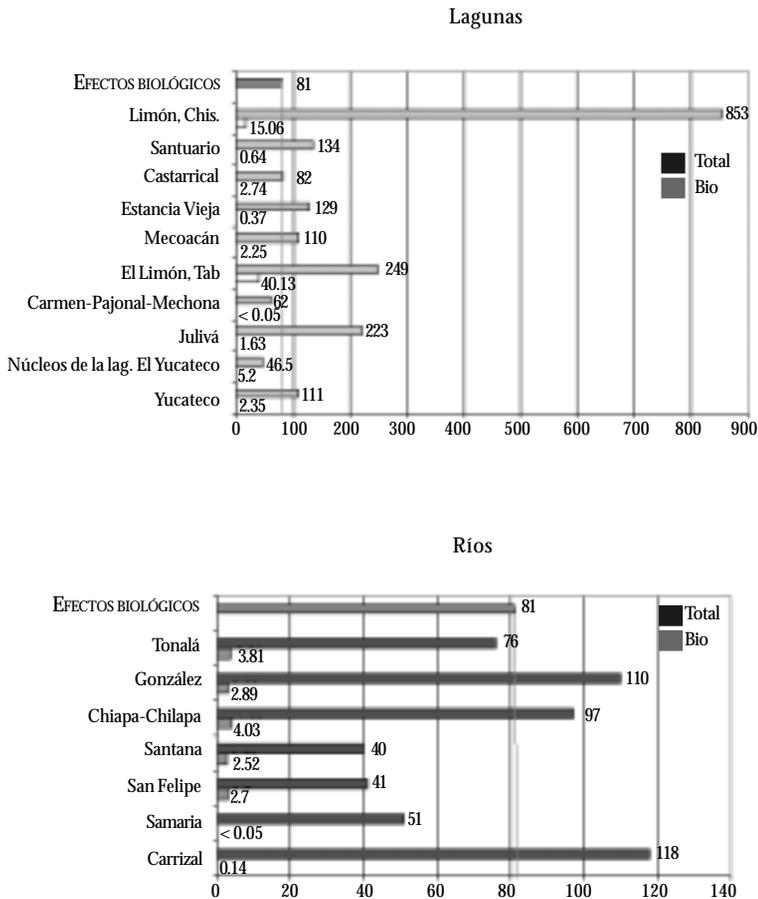


FIGURA 4. CONCENTRACIONES DE PLOMO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE TABASCO



(véase cuadro 5), son las que registran las concentraciones más altas de Cr en los sedimentos de estos dos estados, sobrepasando las concentraciones que establecen Long *et al.* (1995: 19) para el ERL que es de $81 \mu\text{g g}^{-1}$ hasta en un orden de magnitud.

FIGURA 5. CONCENTRACIONES DE CROMO EN SEDIMENTOS DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE TABASCO



Estos datos sugieren la existencia de descargas de industrias aledañas a estos sitios, principalmente aquellas relacionadas con la tenería y los fertilizantes, las cuales descargan sus desechos en forma de cromatos. El Cr es un metal que tiende a acumularse en los sedimentos, lo que contribuye de manera significativa al incremento de su nivel en estas zonas.

Sin embargo, estos altos valores se contraponen con las concentraciones

de la fracción biodisponible, las cuales son menores a $5.5 \mu\text{g g}^{-1}$ para todas las áreas de donde se obtuvo información.

Níquel

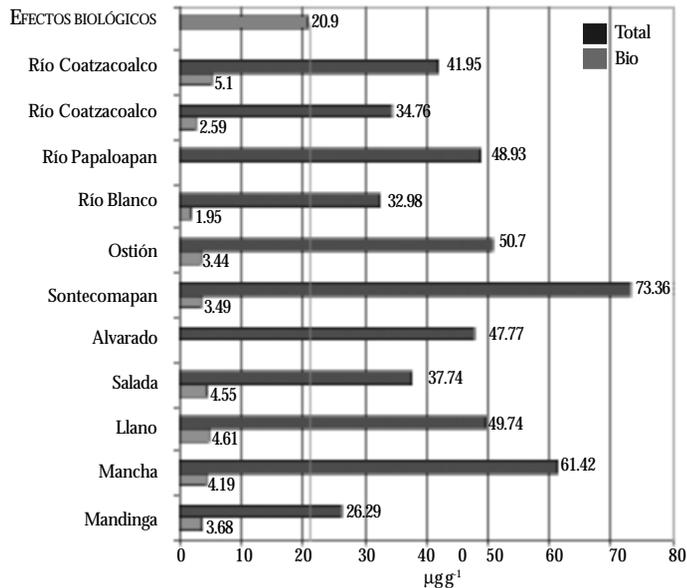
La presencia de Ni total en los sedimentos de las zonas costeras del Golfo de México sigue un patrón relativamente uniforme, ya que el intervalo de valores es de $26.29 \mu\text{g g}^{-1}$ (laguna de Mandinga) hasta $98.40 \mu\text{g g}^{-1}$ (río Tonalá) (Villanueva y Botello 1992:49), seguido por los ríos Jamapa, Actopan, Papaloapan en Veracruz con concentraciones que no exceden los $100 \mu\text{g g}^{-1}$ (Vázquez *et al.* 1995: 45). Las concentraciones biodisponibles son uniformes para las lagunas del estado de Veracruz $<5.0 \mu\text{g g}^{-1}$. En cambio en Tabasco, las lagunas El Limón ($141 \mu\text{g g}^{-1}$), Julivá ($139 \mu\text{g g}^{-1}$) y el río Chilapa-Chilapilla ($155 \mu\text{g g}^{-1}$) son altas hasta en un orden de magnitud, ya que el valor que establecieron Long *et al.* (1995: 19) para el ERL es de $20.9 \mu\text{g g}^{-1}$ (figuras 6 y 7). Los valores reportados para el río Tonalá permiten suponer que este metal junto con el vanadio se encuentra formando parte de la composición de los petróleos crudos, empleando también el Ni como agente catalizador en el proceso de refinación de este petróleo. Es por ésto que se puede presumir que dichas concentraciones se relacionan directamente con las actividades petroleras propias de la zona, entre las que se encuentran las industrias petroquímicas como La Venta, El Panal, y Cinco Presidentes, en Tabasco, las cuales remontan sus actividades a varias décadas anteriores y sus desechos se han vertido desde entonces directamente al río sin ningún tratamiento previo (Villanueva y Botello 1992: 49).

ORGANISMOS

Extensivos programas de vigilancia se han implementando, inicialmente con mejillones para evaluar la presencia de los elementos potencialmente tóxicos y otros contaminantes en ambientes marinos (Goldberg *et al.* 1978: 7, Lauenstein *et al.* 1990:16). Aunque los mejillones son recomendados como una alternativa a los análisis de agua y sedimentos, existen variables adicionales que denotan la necesidad de ser investigados (Phillips 1977:31, Páez-Osuna *et al.* 1987:29, Villanueva y Botello 1998:50, Westerhagen *et al.* 1978:52).

A partir de los años setenta se ha generado información sobre la acumulación de los metales traza en moluscos por medio del Programa Mussel Watch, a través del cual se han analizado concentraciones de Cd, Cu, Pb, Ni,

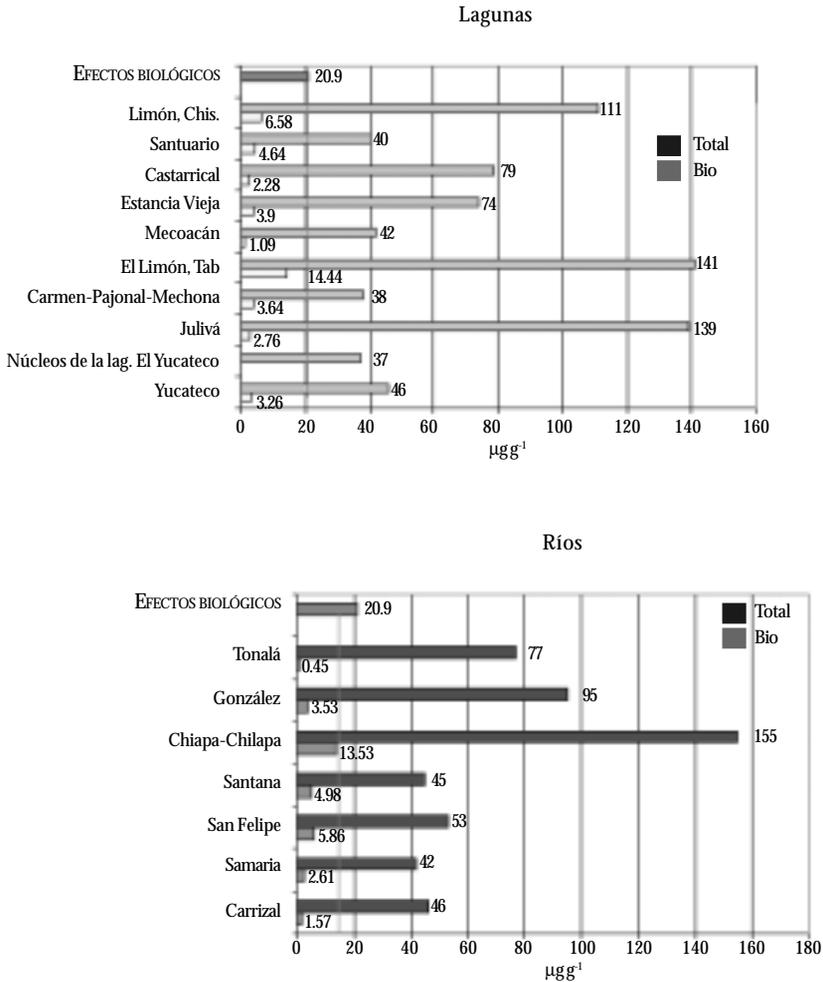
FIGURA 6. CONCENTRACIONES DE NÍQUEL ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ



Ag y Zn en moluscos-bivalvos de la costa norte del Golfo de México, correspondiente a la parte de Estados Unidos (Goldberg *et al.* 1978: 7, 8, Lauenstein *et al.* 1990: 16). En el cuadro 2 se exponen los resultados de este programa en dos décadas de estudio.

De acuerdo con estos resultados, Lauenstein *et al.* (1990:16) concluyen que la concentración del Pb, Cd, Cu, y en menor grado el Zn en los moluscos-bivalvos ha disminuído durante la última década. Los autores no dan una respuesta definitiva al comportamiento de estos metales, pero proponen que el aumento del Cu en el ambiente es inversamente proporcional a la concentración en los moluscos, debido principalmente a los procesos fisiológicos de estos organismos.

FIGURA 7. CONCENTRACIONES DE NIQUEL (g g^{-1}) EN SEDIMENTOS DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE TABASCO



Los niveles de Pb en *Crassostrea virginica* presentan un patrón de distribución heterogéneo a lo largo de la costa del Golfo de México, registrándose los máximos valores en la laguna de Mandinga ($11.55 \mu\text{g g}^{-1}$) (Hernández *et al.* 1996:11). Este valor fue notable, ya que las concentraciones biodisponibles

CUADRO 2. INTERVALO Y CONCENTRACIONES MEDIAS ($\mu\text{g g}^{-1}$, PESO SECO) DE METALES EN MOLUSCOS DE 13 SITIOS A LO LARGO DE LA COSTA NORTE DEL GOLFO DE MÉXICO (PROGRAMA MUSSEL WATCH DURANTE 1976-1978 Y 1986)

ELEMENTO	DÉCADA DE 1970		DÉCADA DE 1980		MEDIA	
	INTERVALO	MEDIA	INTERVALO	MEDIA		
Ag	0.69	3.2	1.81	0.60	4.5	3.02
Cd	2.10	9.1	4.49	1.4	7.0	3.95
Cu	90.0	200	157.6	45	190	118
Ni	1.70	4.5	2.52	1.2	2.4	1.68
Pb	0.27	1.1	0.68	0.3	0.86	0.43
Zn	520	5100	1618	560	3500	1446

de Pb para esta laguna fueron las más altas registradas para el Golfo de México. En las lagunas de San Andrés ($5.85 \mu\text{g g}^{-1}$) (Vázquez *et al.* 1990:42), la Mancha ($3.24 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rodríguez 1994:33) y del Carmen ($3.04 \mu\text{g g}^{-1}$) se observan valores superiores al límite máximo permisible para consumo humano que es de $2.5 \mu\text{g g}^{-1}$ (Nauen 1983:23) (cuadro 3).

Sin duda, ello refleja el incremento de las actividades humanas e industriales cercanas a estas zonas, influyendo en su concentración y distribución, la dirección de los vientos y las corrientes costeras que acarrear dichos metales provenientes de las ciudades costeras industriales como Tampico, Veracruz y Tabasco. El alto valor de la laguna de Mandinga refleja que a ésta se vierten descargas directas enriquecidas de Pb, originándose probablemente en las áreas industriales de Córdoba y Orizaba, y que son transportadas a la zona costera por medio de los ríos Blanco y Jamapa en Veracruz.

Pérez-Zapata *et al.* (1984:30) analizaron dos especies de peces *Centropomus undecimalis* y *Guerres* sp. y reportaron los valores más altos para organismos del Golfo de México con $50.00 \mu\text{g g}^{-1}$ de Pb para el cráneo y riñón respectivamente.

A pesar de que el estado de Veracruz es altamente industrializado y urbanizado, las concentraciones promedio de Pb en *Crassostrea virginica* ($4.38 \mu\text{g g}^{-1}$), son semejantes a las del estado de Campeche ($4.59 \mu\text{g g}^{-1}$); y a la vez son menores a las registradas para el estado de Tamaulipas ($5.85 \mu\text{g g}^{-1}$).

Botello (1996: 4) realizó un estudio en la laguna El Yucateco, Tabasco de metales en distintas especies de peces y reportó que las concentraciones de

Pb para la mojarra prieta *Cichlasoma friedrichthali* fueron las más altas reportadas para peces registrando $15.68 \mu\text{g g}^{-1}$, así como para las cuatro especies enunciadas en el cuadro 4, estando por arriba del límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos según Nauen (1983:23) ($2.50 \mu\text{g g}^{-1}$).

Cadmio y Cromo

En el cuadro 3 se reportan las mayores concentraciones obtenidas para *Crassostrea virginica* en las lagunas del Carmen ($3.20 \mu\text{g g}^{-1}$), (Botello 1996:4), Términos ($5.33 \mu\text{g g}^{-1}$ y $4.17 \mu\text{g g}^{-1}$) (Hicks 1976:12; Vázquez *et al.* 1993:44), y Mandinga ($3.13 \mu\text{g g}^{-1}$) (Hernández *et al.* 1996:11); estos valores sobrepasan el límite permisible para consumo humano ($2.0 \mu\text{g g}^{-1}$). Así, las elevadas concentraciones en las lagunas del Carmen y Términos se deben a la deposición de los desechos del río Panuco y río Palizada respectivamente, así como de los aportes de las industrias y actividades agrícolas aledañas a ellas. Un hecho claro es que generalmente hay una asociación entre la proximidad a las áreas densamente urbanizadas con las áreas de operaciones de minería, electroplastia y petrolera.

En cambio las concentraciones reportadas para peces de la laguna El Yucateco se encuentran entre $0.36 \mu\text{g g}^{-1}$ a $0.71 \mu\text{g g}^{-1}$ (cuadro 4). Las concentraciones detectadas de Cr en el ostión *Crassostrea virginica* son altas para todas las áreas reportadas en el cuadro 3 de acuerdo con el límite máximo permisible que es de $1.0 \mu\text{g g}^{-1}$ (Nauen 1983:23), por lo que hay una alta disponibilidad y acumulación de este metal del sedimento hacia los moluscos-bivalvos.

Los peces analizados de la laguna El Yucateco presentan concentraciones ligeramente por arriba del límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos que es de $1.00 \mu\text{g g}^{-1}$ (cuadro 4).

Níquel

A pesar de que el Ni es un metal esencial para los organismos vivos, también es el metal que menos tendencia tiene a bioacumularse, y sólo los moluscos de la laguna del Ostión en Veracruz ($84.00 \mu\text{g g}^{-1}$) (Villanueva *et al.* 1988: 48) mostraron niveles importantes de este metal. Sin embargo, esta concentración no es tan elevada al comparar dicho valor con el que reporta Segar (1971: 39) en el gasterópodo *Crepidula fornicata* ($850 \mu\text{g g}^{-1}$), donde el autor hace referencia a que esta concentración no tiene ningún efecto tóxico en el organismo. Los niveles reportados por Villanueva *et al.* (1998:48) en

Diapterus olisthostomus (78.00 $\mu\text{g g}^{-1}$) son altos en relación con otros estudios, como el realizado por Izaguirre-Fierro *et al.* (1992:13) para el noroeste

CUADRO 3. VALORES PROMEDIO DE METALES EN *CRASSOSTREA VIRGINICA* ($\mu\text{g g}^{-1}$, PESO SECO) DE LAGUNAS COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO

Estado	Cd	Cr	Pb	Ni	Referencia
<i>Tamaulipas</i>					
Laguna San Andrés Veracruz	2.55		5.85	3.4	Vázquez <i>et al.</i> 1990:42
Mandinga	3.13	3.32	11.55	5.77	Hernández <i>et al.</i> 1996:11
Mancha	1.34	5.13	3.24	2.88	Rodríguez 1994:33
Llano	1.11	4.58	2.23	4.13	Rodríguez 1994:33
<i>Tabasco</i>					
Carmen	3.29	6.31	51.80		Botello, 1996:4
Machona	2.94	5.17	22.38		Botello, 1996:4
Mecoacan	1.08	6.47	4.08		Botello, 1996:4
L.M.P.C.A.A.*	0.20	1.00	2.50		

* Límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos.
Fuente: Nauen (1983)

CUADRO 4. CONCENTRACIONES DE METALES EN TEJIDO DE PECES Y CRUSTÁCEO ($\mu\text{g g}^{-1}$, PESO SECO) DE LA LAGUNA EL YUCATECO, TABASCO

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	Cd	Cr	Pb	Ni
<i>Cichlasoma friedrichsthalii</i>	Mojarra Prieta	0.61	1.24	15.68	4.99
<i>Megalops atlanticus</i>	Sábalo	0.43	1.03	10.06	4.10
<i>Cichlasoma bifasciatum</i>	Castarrica	0.36	2.10	5.29	4.57
<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	Mojarra	0.39	0.16	8.89	5.74
<i>Callinectes rathburnae</i> Jaiba		0.71	1.26	12.13	8.75
L.M.P.C.A.A.*		0.20	1.00	2.50	

* Límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos.
Fuente: Botello 1996: 4.

te del Pacífico mexicano donde encontró valores menores a $10.30 \mu\text{g g}^{-1}$ en *Mugil curema* (cuadro 3).

Las concentraciones reportadas en los cuadros 2 y 3 para el ostión *Crassostrea virginica* y en cinco especies diferentes de peces son muy semejantes, ya que su intervalo va de $2.88 \mu\text{g g}^{-1}$ para el ostión de la laguna de Mandinga, a $8.75 \mu\text{g g}^{-1}$ en la jaiba *Callinectes rathuburnae* de la laguna El Yucateco.

Núñez (1996:24) realizó un estudio en tiburones del Golfo de México en donde analizó diez metales en seis órganos diferentes de *Carcharhinus limbatus* y en *Rhizoprionodon terraenovae* considerando las diferentes tallas, edad y sexo de estas dos especies. Mediante este estudio determinó el factor de riesgo para su consumo de acuerdo con las concentraciones detectadas

CUADRO 5. CONCENTRACIONES DE METALES TÓXICOS EN DIFERENTES ESPECIES DE TIBURONES DEL GOLFO DE MÉXICO

METAL	As	Cd	Hg	Pb
Ingesta máxima tolerable*	0.05 mg/kg/día	0.008 mg/kg/semana	0.03 mg/kg/día	2.5 mg/kg/día
Concentración detectada en <i>C. limbatus</i>	3.15 mg/kg	0.30 mg/kg	3.01 mg/kg	1.79 mg/kg
Concentración detectada en <i>R. Terraenovae</i>	3.68 mg/kg	0.40 mg/kg	0.75 mg/kg	3.35 mg/kg
Ingesta máxima tolerable** de carne de <i>C. limbatus</i>	1.11 kg/día	1.86 kg/semana	0.0697 kg/día	97.76 kg/día
Ingesta máxima tolerable** de carne de <i>R. terraenovae</i> .	0.951 kg/día	1.40 kg/semana	0.287 kg/día	52.23 kg/día

* Según los límites establecidos por la FAO/OMS.

**Considerados para una persona adulta de 70 kg de peso.

de metales, sobre todo los altamente tóxicos como el As, Cd, Hg y Pb, debido a que son especies que forman parte importante de las pesquerías a escala nacional.

A diferencia de otras sustancias como los plaguicidas y los radioisótopos artificiales, los metales se hallan presentes formando parte de los seres vivos. Los efectos adversos de los metales dependen de su interacción con los organismos o comunidades en su totalidad. Existe un balance muy delicado entre los organismos y su ambiente, el cual está determinado por la utilización de ciertos metales en los procesos catalíticos que ocurren en la célula y la bioacumulación de estos niveles tóxicos. Este balance está influenciado no solamente por la abundancia y disponibilidad de los metales en la corteza terrestre, sino también por las transformaciones que sufren estos elementos a consecuencia de las alteraciones fisicoquímicas y biológicas que provocan y/o aceleran las actividades humanas (Páez-Osuna 1996: 27).

La mayoría de los metales son insolubles en agua con un pH neutro o básico, pero fácilmente absorbidos al material particulado, como la materia orgánica o los sedimentos, siendo éstos el destino final de los metales en los ambientes acuáticos, en donde la concentración es de 10^3 a 10^7 veces mayor que la concentración de los mismos en la columna agua, ya que pueden ser asimilados por los organismos, o formar compuestos iónicos con aniones hidrosolubles. Por lo tanto, en los océanos y las costas los organismos bentónicos son los más afectados por la concentración de los metales debido a su interacción directa con los sedimentos (Laws 1993: 17).

Se pueden hacer las siguientes consideraciones sobre los resultados que reportan los autores sobre las altas concentraciones de metales tóxicos en los sedimentos y organismos de los sistemas costeros del Golfo de México:

La contaminación por Pb parece ser un fenómeno limitado al área crítica del río en donde existen zonas que se encuentran considerablemente degradadas y completamente destruidas.

Las variaciones de las concentraciones de Pb en los sedimentos dependen del comportamiento de la descarga industrial, la tendencia del Pb a acumularse, y las características propias del sedimento, el cual puede sostener poblaciones de organismos principalmente de bacterias, que a través de su actividad metabólica permiten la incorporación del Pb en forma orgánica, y la afinidad con la materia orgánica (Landner 1970: 14, Hartung 1972: 10).

Las altas concentraciones de Pb biodisponible determinadas en ambientes costeros del Golfo de México se pueden atribuir a los siguientes hechos:

(a) la asociación del metal con la materia orgánica y su precipitación como carbonatos de Pb, (b) el Pb no está totalmente disponible a los organismos, (c) los compuestos de Pb son solubles en agua, (d) la periodicidad de la descarga del Pb, (e) su magnitud, (f) el gasto del río o laguna, y también a la influencia de las mareas, y sobre todo a los compuestos orgánicos de Pb contenidos en las gasolinas, ya que el Hg y el Pb son dos de los metales que se descargan intermitentemente en la zona del río Coatzacoalcos (Ochoa *et al.* 1973: 26, Páez-Osuna *et al.* 1986: 27).

Con respecto a los niveles de metales en los sedimentos de las áreas costeras del Golfo de México, éstos son de varios órdenes de magnitud mayores a los determinados en columna de aguas costeras y mar abierto. Los niveles de concentración y distribución de Pb, Cd y Cr en los sedimentos, con algunas excepciones, están en un intervalo similar a zonas costeras no impactadas.

El comportamiento de los metales en los organismos, depende de varios factores, como: su absorción, excreción, almacenamiento y eficiencia de su sistema de regulación o desintoxicación (Bryan 1971: 5). Así, tales estrategias fisiológicas y bioquímicas pueden diferir de una especie a otra (Gerlach 1981: 6), provocando que las concentraciones varíen entre especies, organismos, tejidos y también con la edad, madurez sexual, hábitos alimenticios, migración, dinamismo, metabolismo, y sobre todo con la diferente afinidad de los metales por órganos específicos (Hicks 1976: 12, McFarlane y Franzin 1980: 22).

METALES EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México es una cuenca abierta con una plataforma continental bien desarrollada. Recibe un suministro importante de diversos materiales terrígenos. Su área de plataforma es de poco relieve predominando los factores de depósito sobre los estructurales.

ORGANISMOS DE PLATAFORMA

Vázquez *et al.* (2001: 45) realizaron estudios de metales (Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, Zn, Ag, Ba y Fe) en peces y camarones colectados en diferentes áreas de la Sonda de Campeche, donde muestran que la concentración de dichos metales en los músculos, gónadas y vísceras (Cu: 1.3-10.5, Pb: 0.15-8.5, Cd:0.001-4.88, Cr: 1.3-9.8, Mn:0.1-0.6, Zn: 41-202, Ag: 0.002-1.5,

Ba:9.3-55.7, Fe: 8.5-236 mg/kg) no presentan variaciones en función del área de colecta, con excepción del Ba y el Zn. Estos metales mostraron las concentraciones más altas en los músculos y gónadas de organismos colectados dentro del área de circulación restringida, adyacente a las plataformas. En camarones se estudiaron los músculos y cabezas en tres áreas diferentes; en general los valores más altos se presentan en la cabeza (Cu: 17.1-125, Pb:1.7-13.1, Cd:1.7-15.9, Cr:1.2-15.9, Mn:0.1-1.1, Zn:55-161,

CUADRO 6. CONCENTRACIONES DE METALES ($\mu\text{g L}^{-1}$) EN AGUA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO

AREA	Cu	Cr	Ni	V	Ti
Costas de Veracruz (1)			.032*	.026*	
Bahía de Campeche A (2)	8.2	7.4	4.2	20.4	13.4
Bahía de Campeche B (2)	5.6	5.2	3.5	24	5.3
Bahía de Campeche C (2)	7.9	5.8	3.4	28.7	4.5
Bahía de Campeche D (2)	11.4	6	2.9	24.7	13
Bahía de San Francisco 3	0.2-5.3	-	-	-	-
Trinidad, Indias Occ. (3)	-	.003-.011	-	-	-
Canal Inglés (4)	-	-	0.02	1.1	-

1. Vázquez *et al.* 1991:43, 2. Villanueva-Estrada 2000:51, 3. Sadiq 1992:38, 4. Auger *et al.* 1999 :2.

Ag:16-2.7, Ba:11.6-90.6, Fe:59-285) y no se observa una tendencia definida de concentración en función del área.

AGUA DE PLATAFORMA

Los datos de la concentración de metales en aguas del Golfo de México son muy escasos. Las dificultades analíticas inherentes a la determinación de metales en agua de mar, así como los niveles de concentración del orden de mg L^{-1} o ng L^{-1} en que se encuentran los metales dificultan su análisis.

Vázquez *et al.* (1991:43) realizaron estudios en las costas de Veracruz, donde evaluaron las concentraciones de Ni y V en agua (superficie y fondo)

y en sedimentos superficiales. La concentración promedio de Ni que encontraron en agua fue de $0.032 \mu\text{g L}^{-1}$ con un intervalo de 0.008 a $0.095 \mu\text{g L}^{-1}$. Los mismos autores obtuvieron valores más altos durante un crucero en diciembre, lo cual se atribuye a la presencia de nortes, observándose una clara diferencia entre las muestras de superficie y fondo. El V en el agua varió de 0.001 a $0.119 \mu\text{g L}^{-1}$ con un promedio de $0.026 \mu\text{g L}^{-1}$. En el muestreo de noviembre los valores de superficie y fondo fueron similares, en tanto que para diciembre se observaron diferencias atribuidas a los vientos del norte presentes durante el muestreo. Comparando estos valores con los valores promedio reportados por Auger *et al.* (1999:2) en el Canal Inglés, de 0.02 mg L^{-1} de Ni, y 1.10 mg L^{-1} de V, se observó que los valores de Vázquez *et al.* (1991:43) están por debajo de las concentraciones observadas en el Canal Inglés.

Villanueva -Estrada (2000:51), llevó a cabo un estudio de metales disueltos, (Cu Cr, Ni, V y Ti) en agua de fondo, en cuatro zonas del sur del Golfo: i) zona A, localizada cerca de la descarga de los ríos Grijalva- Usumacinta; ii) zona B, localizada dentro de la zona de exclusión de PEMEX, al suroeste de la misma; iii) zona C, localizada dentro de la zona de exclusión de PEMEX, al noreste de la misma; y iv) zona D, localizada fuera del área de exclusión dentro de la provincia carbonatada. Los valores más altos obtenidos (cuadro 6) de Cu se ubican en la zona D, donde también se obtuvieron los valores más altos de materia orgánica disuelta con la cual se asocia el Cu. Los valores más altos de Cr, Ni y Ti se localizaron en la zona A y se asocian con las descargas de los ríos Grijalva, Usumacinta. El valor más alto de V ($28.7 \mu\text{g L}^{-1}$ en promedio) se presenta en la zona C y se atribuye a las actividades de extracción de hidrocarburos.

SEDIMENTOS DE PLATAFORMA

Los estudios de concentración de metales en sedimentos de la plataforma continental del Golfo de México son escasos. En el cuadro 7 se presentan las concentraciones de metales en sedimentos superficiales del Golfo de México de acuerdo con diferentes estudios realizados.

Vázquez *et al.* (1991:43) en un estudio realizado en las costas del estado de Veracruz encontraron concentraciones de Ni entre 82 y 113 mg/kg con un promedio de 95.5 mg/kg . Los valores fueron muy similares a los muestreos realizados en noviembre y diciembre, las muestras más alejadas de la costa muestran los valores más altos, lo que se atribuye a los procesos diagenéticos. Las concentraciones de V en los sedimentos del área se presentaron en un

intervalo de 39 y 63 mg/kg con un promedio de 45.5 mg/kg, con valores muy similares entre ambos cruceros realizados.

Rosales *et al.* (1994:36) llevaron a cabo estudios en el área de la Sonda de Campeche para evaluar el impacto de las actividades de explotación petrolera que se llevan a cabo en el área, encontrando valores de 18 mg/kg de Pb, de 66 a 366 mg/kg de Cr con un promedio de 166 mg/kg. El patrón de distribución de estos metales sugiere que las fuentes de aporte son las descargas de los ríos Grijalva- Usumacinta, lo cual se apoya adicionalmente en su relación con las descargas de Al, elemento al que se le atribuye un origen terrígeno. El Ba encontrado en el área, muestra patrones de distribución que podrían relacionarse con actividades de exploración y explotación petroleras que se llevan a cabo en el área; los valores más altos (767 mg/kg) se encuentran adyacentes a estas áreas.

Ponce (1995: 32) realizó un estudio en sedimentos superficiales a lo largo de la plataforma de Tamaulipas. Los valores de concentración más altos de metales están asociados a la desembocadura del río Soto la Marina a excepción del Cr cuyo valor más alto corresponde al extremo norte del área de estudio.

En la plataforma continental del estado de Veracruz, la misma autora colectó muestras de sedimento superficial frente a la desembocadura de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y frente a la laguna del Carmen. Los valores más altos se encontraron en la estación localizada al sur de la desembocadura del río Coatzacoalcos, cerca de la costa (cuadro 7). También se estudiaron los sedimentos superficiales frente a la desembocadura del río Grijalva donde los valores más altos se encontraron en las estaciones localizadas más alejadas de la costa. De las tres áreas estudiadas de la plataforma (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco), los valores más altos de Ni, Zn y Cr se encontraron en la plataforma continental del estado de Tabasco; los de Cu y Pb en el sur de Veracruz y los de Cd correspondieron a la plataforma continental de Tamaulipas.

Durante febrero de 1992 se colectaron 26 núcleos de sedimentos de 10 cm en la plataforma de Campeche (Macias-Zamora *et al.* 1999:21), y se evaluaron las concentraciones de Cu, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb, V, Mn, Fe. La mayoría de los metales mostraron una mayor concentración hacia el suroeste del Banco de Campeche y concentraciones bajas hacia la plataforma de Yucatán. En el cuadro 7 se muestra el promedio de concentración obtenido para cada metal, así como el intervalo en que se encontraron. Los patrones de distribución de los metales, sugieren que la concentración de éstos es controlada en gran parte por la cercanía a la fuente de aporte de material terrígeno. Aparentemente,

los gradientes de distribución son afectados por los patrones de circulación.

Los valores de Fe y Zn muestran alta variación, en tanto los valores de Cu, Cr y Cd muestran poca variación. La normalización de los metales estudiados respecto al Fe muestra que este elemento está controlando la distribución de la mayoría de los metales.

Un análisis de la regresión lineal de esta relación sugiere la presencia de tres áreas, especialmente en los casos de Cr, Ni y Zn: una con alto contenido de metales, otra con bajo contenido de metales y un área de transición.

El análisis de la distribución de metales a lo largo de 10 cm en el núcleo 5A (localizado alrededor de 19° 24' de latitud y 92° 38' de longitud) no mostró cambios notables, lo que sugirió la ausencia de procesos diagenéticos, con excepción del Cd. En el caso del núcleo 5B (localizado alrededor de 20° 05' de latitud y 91° 52' de longitud), se observaron perturbaciones entre 4-5 cm de profundidad para todos los metales estudiados, lo que sugirió un evento común como es la fluctuación en los aportes fluviales o en el régimen de circulación. Los patrones de distribución espacial de los metales sugirieron una influencia de material terrígeno depositado en las áreas costeras de Tabasco y Veracruz.

El patrón de distribución de Ni/V mostró los valores más altos en el área restringida de explotación de hidrocarburos. Este patrón puede estar asociado con las actividades de extracción de hidrocarburos o con los patrones de circulación en el área.

Rosales *et al.* (1999: 37) colectaron 73 muestras de sedimento superficial en el sureste del Golfo de México. El análisis de las características texturales de los sedimentos superficiales mostró que los sedimentos lodosos aportados por el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta se distribuyeron hacia el norte y posteriormente se desplazaron en dirección noreste; este patrón de distribución se asoció con la dinámica del área. Enfrente de la laguna de Términos se observa otra corriente de menor intensidad que fluye hacia la desembocadura de los ríos Grijalva Usumacinta; estas corrientes son determinantes en los patrones de distribución de metales en el área.

Basándose en el contenido de Si/Al se clasificaron las muestras en dos grupos con características químicas diferentes: 1) los sedimentos asociados a las descargas de los ríos Grijalva, Usumacinta, correspondieron a sedimentos más intemperizados, con más alto contenido de Al, concentraciones menores de Na y K, y una correlación significativa de Al con Fe, Ti y Zn, lo que sugiere que el Fe se encuentra asociado a la estructura cristalina de las arcillas.

En el cuadro 7 se presenta el contenido de metales de estos sedimentos. Los sedimentos con menor contenido de Al se asociaron a las descargas de la

laguna de Términos; estos sedimentos tienen una correlación alta de Al con Si y de Fe con Mn, Ti, Mg, lo que sugiere la presencia de minerales pesados altamente resistentes al intemperismo.

Un análisis de factores, permite observar la presencia de tres tipos de sedimentos con características químicas diferentes: 1) sedimentos terrígenos asociados a las descargas de los ríos Grijalva/Usamacinta, caracterizados principalmente por su contenido de Al, Zn, Fe y K 2) sedimentos con un alto contenido de Ba, asociados con las actividades de extracción de hidrocarburos y 3) sedimentos asociados a las descargas de laguna de Términos caracterizados por su contenido de materia orgánica.

En febrero/marzo de 1997 Vázquez *et al.* (2002: 47) colectaron 28 muestras de sedimento en el sureste del Golfo de México desde la desembocadura del río Coatzacoalcos hasta la laguna de Términos concluyendo lo siguiente: los elementos estudiados (Si, Al, Fe, Na, Mg, Ca, K) a excepción de Ca y Si no mostraron una variación significativa entre estaciones. La alta concentración de CaO en la región este del área de estudio se debe a que el Banco de Campeche es una provincia carbonatada. La concentración de Si fue más alta en la porción oeste del área de estudio. Los metales presentaron distribuciones al azar y no siguieron un patrón definido; sin embargo, algunos metales tales como Ni, V y Ba tuvieron valores anormalmente altos en algunos sitios que sugirieron que podrían estar asociados a las actividades de extracción de hidrocarburos. No se observó una correlación entre la concentración de metales y la composición de sedimentos, lo que sugirió que los metales no están asociados a los minerales de aluminosilicatos, hidróxidos de hierro y carbonatos presentes naturalmente en el área. La correlación entre metales indica que el Cu, Zn, Ni, Co y V en sedimentos son controlados por los mismos factores tales como asociación a la superficie de los óxidos de Fe.

Comparando los valores de metales obtenidos con los de otras áreas, se observa que las concentraciones de Cu, Zn y Cr son similares a los valores obtenidos en zonas costeras, sin embargo, las concentraciones de Cd, Pb y Ni son más altas.

RADIONUCLIDOS ARTIFICIALES

Rodríguez-Espinosa *et al.* (2002:34) estudiaron los isótopos de ^{137}Cs y ^{40}K en núcleos de sedimentos localizados en el sureste del Golfo de México, encontrando que las concentraciones de estos isótopos variaron dependiendo de

CUADRO 7. METALES EN SEDIMENTOS (MG/KG) DEL GOLFO DE MÉXICO

AREA	N	CU	Cd	Cr	Zn	Pb	Ni	V	Ba	Fe
Costa de Veracruz (1)	31	Prom.	-	-	-	-	-	95.5	45.5	-
		Intervalo	-	-	-	-	-	82-113	39-63	-
Sureste Golfo de México (2)	37	Prom.	-	-	166	-	18	-	-	147
		Intervalo	-	-	83-316	-	-	-	-	33-767
Plataforma de Tamaulipas (3)	23	Prom.	15.23	9.14	36.97	71.67	4.22	26.82	-	-
		Intervalo	3.2-24.98	2.8-18.0	nd-74.96	17.3-115.7	nd-6.9	1.9-76	-	-
Plataforma de Veracruz (3)	29	Prom.	17.94	1.79	15.6	33.18	15.2	17.86	-	-
		Intervalo	1.6-91.25	1.16-5.96	nd-50.3	nd-185.9	nd-37.7	3.4-84.8	-	-
Plataforma de Tabasco (3)	32	Prom.	16.88	7.03	101.7	84.4	6.44	91	-	-
		Intervalo	nd-33.5	2.8-13.9	57.8-157.4	47.3-127.9	nd-27.2	45.7-147.4	-	-
Plataforma de Campeche (4)	26	Prom.	7.53	0.09	39.8	18.5	4.3	-	47.78	1.84
		Intervalo	3.8-18.7	0.01-0.7	3.0-100.0	0.04-79.6	0.22-20.2	-	15.6-117.5	0-7.9
Sureste Golfo de México: Río (5)	18	Prom.	-	-	-	79.7	-	-	-	751
		Intervalo	-	-	-	45.4-116.7	-	-	-	256.4-2909
Sureste Golfo de México: Lag (5)	14	Prom.	-	-	-	10.4	-	-	-	472
		Rango	-	-	-	0-85.2	-	-	-	106.8-864
Sureste Golfo de México (6)	28	Intervalo	9.4	3.45	74.5	64.6	107	71.3	33.9	35.5
		Rango	0.05-18.3	0.05-6.82	54.7-97.3	0.54-131	67.3-263	1.54-211	17.7-59.6	9.3-74.6
USA (7)		Intervalo	35	0.48	110	140	43	34	-	-

1) Vázquez et al. (1991:43), 2) Rosalez-Hoz et al. (1994:36) 3) Ponce (1996:32) 4) Macías-Zamara et al. (1999:21) 5) Rosales-Hoz et al. (1999:37), 6) Vázquez et al. (2002:47) 7) O'Connor y Cantillo 1992:25

los ambientes sedimentarios, pero son similares a los valores reportados en otras áreas a nivel mundial. Las concentraciones de ^{137}Cs están en el intervalo de 2 a 6.5 Bk/kg y las de ^{40}K de 100 a 800 Bq/kg. Los valores más altos de ^{137}Cs se encontraron en los sedimentos localizados en el delta de los ríos Grijalva Usumacinta a profundidades de 75 m; estos valores se asociaron a la gran cantidad de lluvias presentes en el área (3,000 mm/año) y al tamaño de la cuenca de los ríos Grijalva Usumacinta, que es mucho mayor que la cuenca del río Pánuco. Los valores más altos de ^{40}K se localizaron en el delta del río Pánuco, los sedimentos aportados por este río proceden de la Sierra Madre Oriental y de la parte central de México donde existe una intensa actividad agrícola y uso de fertilizantes. Los valores más bajos tanto de ^{137}Cs como de ^{40}K se localizaron en el escarpe de Yucatán.

El estudio de isótopos radioactivos permite diferenciar la plataforma continental del Golfo de México en función de los ambientes de depósito de cada región, por lo que no se pueden generalizar los procesos biogeoquímicos de los metales de una región oceánica a otra.

CONCLUSIONES

La ausencia de programas efectivos de vigilancia y control de metales del ambiente costero mexicano, la creciente industrialización y urbanización de la zona costera mexicana y sobre todo la falta de una verdadera aplicación de normas ambientales, han ocasionado que el 45% de los ríos y lagunas del Golfo de México, contengan Pb, Cd y Cr, principalmente las lagunas de Ostión Alvarado, y del río Coatzacoalcos en Veracruz y de las lagunas de las Ilusiones, El Yucateco, Julivá en Tabasco.

Los datos analizados en este trabajo, demuestran que la tendencia de los niveles de metales va en aumento, principalmente del Pb y Cr cuyos valores se han incrementado hasta en 20 órdenes de magnitud con respecto a las concentraciones detectadas en las dos últimas décadas.

Los altos niveles de metales en las áreas costeras del Golfo de México se deben, principalmente a la introducción continua y masiva de aguas residuales de ciudades costeras, a los aportes industriales, de minería, tene-ría, galvanoplastia y de fertilizantes, las cuales varían con la periodicidad y magnitud de las descargas. Finalmente, las emisiones atmosféricas, provenientes de las regiones urbanas e industriales de las ciudades costeras, son otra fuente de aporte importante de contaminación. Así, la información aquí presentada muestra que la tendencia de la contaminación por metales

en las zonas costeras del Golfo de México va en aumento, principalmente la producida por Pb, Cd y Cr metales que pueden producir efectos toxicológicos negativos en los organismos que habitan las áreas costeras mexicanas, y por lo tanto un efecto deletéreo en las pesquerías importantes de la región, como son las de las lagunas de la Mancha, Mandinga, del Ostión en Veracruz y el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R.U., Rosales, H.L., Carranza, E.A. 1986. Heavy metals in Blanco river sediments, Veracruz, México. Universidad Nacional de Autónoma de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 13: 1-10.
- Auger, Y., Bodineau, L., Leclercq, S., Wartel, M. 1999. Some aspects of vanadium and chromium chemistry in the English Channel. *Continental Shelf Research* 19, 2003-2018. Pergamon.
- Bahena-Manjarrez, J.L., Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A. 2002. Spatial and temporal variation of heavy metals in a tropical estuary. *Environmental Geology* 42: 575-582.
- Botello, A.V. 1996. Hidrocarburos Tóxicos en cuerpos acuáticos y su Bioacumulación. Informe Final presentado a Petróleos Mexicanos-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Enero, 1997. 166 pp.
- Bryan, G.W. 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc. Roy. Soc. London (B)* 177:3 89-410.
- Gerlach, S.A. 1981. *Marine Pollution. Diagnosis and Terapy*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Goldberg, E.D., Bowen. V.I., Farrington, J.W., Martin, J.H., Parker, P.L., Risenbrough, R.W., Robertson, W., Schneider, E., Rambre, E. 1978. The Mussel Watch. *Environmental Conservation* 5:101-125.
- Goldberg, E.D., Koide, M., Hodge, V., Flegal, A.R., Martin, J. 1983. U.S. Mussel Watch: 1977-1978 Results on Trace Metals and Radionuclides. *Estuarine Shelf Science* 16: 69-93.
- González, F.A. 1995. Evaluación de metales en sedimentos recientes y organismos bentónicos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. Tesis Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Puebla.
- Hartung, R. y B.D. Sinman 1972. *Environmental mercury contamination*. Ann Arbor Science.
- Hernández, A.E., Hernández, V.E., Botello, A,V, Villanueva, F.S. 1996. Deterioro por metales del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz. 6° Congreso Nacional de Geoquímica. Instituto Nacional de Geoquímica, A.C., México. *Acta INAGEQ*2: 307-312.

- Hicks, E.A. 1976. Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Facultad de Química. UNAM, México.
- Izaguirre-Fierro, G., Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I. 1992. Metales pesados en los peces del Valle de Culiacán. *Ciencias Marinas* 18: 143-151.
- Landner, L. 1970. Restoration of mercury contaminated lakes and rivers. *Swedish Water and Air Pollution*. Research Laboratory Ref. B.
- Largerwerff, J.V. 1972. En: Micronutrients in agriculture. J.J. Morvedt (ed). *Soil Science*. Society America Madison Wisconsin. 67 pp.
- Lauenstein, G.G., Robertson, A, O'Connor, T.P. 1990. Comparison of trace metal data in mussel and oysters from a Mussel Watch Programme of the 1970's with those from a 1980's Programme. *Marine Pollution Bulletin* 21: 40-447.
- Laws, E.A. 1993. *Metals*. 351-415. En: *Aquatic Pollution. An Introduction Text*. Second Edition. An Interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc.
- Loring, D.H. 1979. Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal Earth Science* 16: 1196-1209.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1): 81-97.
- Luoma, S.N., Jenne, E.A. 1976. Estimating bioavailability of sediment-bound trace metals with chemical extractants. In: Trace substances in environmental health. DD Memphis (ed). Univ. Of Missouri, Columbia, MO 343-351.
- Macias Zamora, J.V., Villaescusa Celaya, J.A., Muñoz Barbosa, A., Gold Bouchot, G. 1999. Trace metals in sediment cores from the Campeche shelf, Gulf of Mexico. Elsevier Science Ltd. *Environmental Pollution* 104 (1), 69-77.
- McFarlane, G.A., Franzis, W.G. 1980. An examination of Cd, Cu and concentration in liver of northern pike. *Essox lucius* and white sucker, *Catostomus commersoni* the five lakes near a base metals smelter at Flin Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37:1573-1578.
- Nauen, C.E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fisheries products. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, October 1-100.
- Núñez, N.G. 1996. Concentración de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en cerebro, branquias, músculo, páncreas, riñón e hígado de dos especies de tiburones del Golfo de México (*Rhizoprionodon terraenovae* y *Carcharhinus limbatus*) con importancia comercial. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- O'Connor T.P., Cantillo A.Y. 1992. Trace element contaminants in sediments from the NOAA National Status and Trends Programme compared to data from throughout

- the world. *Chemistry Ecology* 7:31-50.
- Ochoa, S.A., Halffter, G.E., Ibarra, R. 1973. Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer Seminario sobre la Evaluación de la contaminación Ambiental. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables (ed.). México, D.F. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas: 115-162.
- Páez-Osuna, F. 1996. Efectos de los metales, p. 349-361. En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Beniez, D. Zárate-Lomeli (Eds.). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica, 5.
- Páez-Osuna, F., Botello, A.V., Villanueva, S.F. 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 11: 516-519.
- Páez-Osuna, F., Valdez-Lozano D, Alexander, M.H., Fernández-Pérez, H. 1987. Trace metals in the fluvial system of Términos Lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 18: 294-297.
- Perez-Zapata, A.J., Deleón, I.R., Gil, R.A.M. 1984. Determinación cuantitativa de plomo en peces del estuario del Río Coatzacoalcos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México*. 28: 193-197.
- Phillips, D.J.H. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metals pollution in marine and estuarine environments - a review. *Environmental Pollution* 13: 282-317.
- Ponce, V.G. 1995. Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Rodríguez, P.C. 1994. Evaluación de metales en sedimentos, agua y biota de las lagunas Salada, el Llano y la Mancha, Veracruz, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. 99 pp.
- Rodríguez Espinosa, P.F., Vidal Lorandi F.V., Vidal Lorandi, V.M. 2002. Regionalization of natural and artificial radionuclides in marine sediments of the southern Gulf of Mexico. En : *Environmental changes and radioactive tracers*. Fernandez J.M. y Fichez R. (ed). IRD Editions. París.
- Rosalez, H.L., Carranza, E.A., Alvarez, R.U. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 13 (3): 19-28.
- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Santiago-Pérez, S., Méndez-Jaime C., Doger-Badillo R. 1994. Study of antropogenically induced trace metals on the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of Mexico. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México, D.F. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 10(1), 9-13.

- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Mendez-Jaime C., Monreal-Gómez M.A. 1999. Metals in shelf sediments and their association with continental discharges in a tropical zone. *Marine Freshwater Research*, 50, 189-196. CSIRO Publishing, Australia.
- Sadiq M., 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*, M. Dekker Inc. New York.
- Segar, D.A., Collins, J.D., Riley, J. 1971. The distribution of major and major some minor elements in marine animals. II Molluscs. *Journal Marine Biology Association U.K.* 51, 131-136.
- Turekian K.K., Scott M.R. 1967. Concentrations of Cr, Ag, Mo, Ni, Co and Mn in suspended material in stream. *Environmental Science and Technology* 1 (11):940-942.
- Valencia, J.J.L. 1989. Registro sedimentario de metales pesados en la Laguna de las Ilusiones, Villahermosa. Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Básicas- Biología. Unidad Sierra.
- Vázquez, F.G., Aguilera, G.L., Delgado, H.D., Marquez, G.A. 1990. Trace and heavy metals in the oyster *Crassostrea virginica*, San Andres Lagoon, Tamaulipas, Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 45: 907-914.
- Vázquez, F.G., Sánchez, M., Alexander, H., Delgado, D. 1991. Distribution of Ni and V and Petroleum hydrocarbons in recent sediments from the Veracruz coast, Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 46: 774-781.
- Vázquez, F.G. Sánchez G.M., Virender K.S. 1993. Trace metals in the oyster *Crassostrea virginica* of the Terminos lagoon, Campeche, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 26:398-399.
- Vázquez F.G., Sharma, V.K., Alexander, V.H., Frausto, C.A. 1995. Metals in some lagoons of Mexico. *Environmental Health Perspective* 103(Suppl 1): 33-34.
- Vázquez F.G., Sharma V.K., Mendoza Q.A., Hernández R. 2001. Metals in fish and shrimp of the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 46, 774-781. Springer-Verlag New York Inc.
- Vázquez, F.G., Sharma V.K., Pérez-Cruz, 2002. Concentrations of elements and metals in sediments of the southeastern Gulf of Mexico, *Environmental Geology*, 42, 41-46, Springer-Verlag, New York Inc.
- Villanueva, F.S., Botello, A.V., Páez-Osuna, F. 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 4:19-31.
- Villanueva, F.S., Botello, A.V. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 8(1):47-61.
- Villanueva, F.S., Botello, A.V. 1998. Metal Pollution in Coastal of Mexico. *Review Environmental Contamination and Toxicology* 157:53-94.
- Villanueva-Estrada R.E. 2000. Evaluación de metales pesados en el área de las plataformas petroleras de la Bahía de Campeche. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar. ICMYL-UNAM.
- Westerhagen, H.V., Dethlefsen, V., Rosenthal, H., Furstenberg, G., Klinckmn, J. 1978. Fate and effects of cadmium in an experimental marine ecosystem. *Helg Wiss Meers* 31: 471-484.

APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL RECURSO CAMARÓN

Adolfo Gracia

INTRODUCCIÓN

El camarón es uno de los recursos pesqueros más apreciados a nivel mundial, por lo cual alcanza un gran valor por unidad de peso. La demanda de este producto pesquero es elevada, principalmente en los países de alto nivel económico como los EE.UU., Japón y la Comunidad Económica Europea. Debido a esto alcanza una importancia comparativamente alta en la producción pesquera mundial, a pesar de sólo representar un 2.5% de esta captura total.

En México, el camarón es el recurso pesquero más importante, ya que su explotación constituye una actividad muy relevante desde el punto de vista social y económico. Debido a su valor y demanda nacional e internacional la explotación del camarón es también fuente importante de empleos y de divisas. Aunque en términos de volumen de captura, por lo general ocupa entre el cuarto y sexto lugar en la producción pesquera nacional, su valor por unidad de peso lo coloca en el primer lugar. El valor de la producción pesquera anual de camarón varía entre el 35% y 40% del valor total de la producción pesquera total del país. En ambas costas del país se captura este crustáceo con una producción total que fluctúa en alrededor de 70,000 toneladas anuales. La captura en el Golfo de México contribuye aproximadamente con 30% a la producción pesquera nacional de este producto

pesquero. En términos históricos, la explotación de camarón en el Golfo de México ha sido la actividad pesquera más importante en esta región, tanto por los volúmenes de captura, como por la generación de empleos directos e indirectos en la fase de extracción, procesamiento y servicios asociados.

Las especies más importantes en las que se basan las pesquerías de camarón del Golfo de México son comunes para toda el área, tanto en aguas nacionales como las de EE.UU. Entre estas especies, las de mayor valor comercial son: el camarón café *Farfantepenaeus aztecus*, el camarón rosado, *F. duorarum*, el camarón blanco *Litopenaeus setiferus* y en el Caribe Mexicano el camarón rojo *F. brasiliensis*. También existen otras especies que en años recientes han cobrado mayor importancia, como el camarón roca *Sicyonia brevirostris* y el camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* y que junto con otras especies menores constituyen lo que se conoce como pacotilla, generalmente con menor valor comercial.

PRINCIPALES ÁREAS DE CAPTURA

Las principales concentraciones de camarón definen tres regiones camaroneras en el Golfo de México en las que están presentes todas las especies, pero sobresale alguna de ellas en particular: 1) frente a las costas de Tamaulipas y Veracruz, donde predomina el camarón café; 2) la Sonda de Campeche que presenta concentraciones importantes de camarón rosado y camarón blanco y 3) la zona de Contoy en el Caribe, en la cual las mayores capturas son de camarón rojo.

PESQUERÍAS

El camarón tiene una alta demanda para consumo humano en los diferentes estadios de su ciclo de vida, por lo cual se le captura desde nivel juvenil hasta adulto. A lo largo de su historia, la pesquería de camarón del Golfo de México en su conjunto ha pasado a través de diferentes etapas con la participación de diversos actores en su explotación. Las tres especies de camarón más importantes del Golfo de México están sujetas tanto a una explotación artesanal como industrial, en forma secuencial en las áreas de crianza y altamar, y en el caso del camarón blanco en forma paralela en la zona costera marina.

Las características de estas pesquerías difieren en costo, inversión, empleos generados y rentabilidad. En particular las pesquerías artesanales se

distinguen por una inversión relativamente baja en las artes de pesca y en las embarcaciones empleadas en la explotación del camarón. Además se caracterizan por un bajo consumo de energía y proporcionan empleos a pescadores de nivel económico bajo. Al incidir en etapas juveniles, las ganancias también son bajas, ya que el producto por lo general es de consumo local y no generan las divisas típicas de este recurso de alto valor unitario. Las artes de pesca empleadas son variadas e incluyen artes fijas y móviles que operan sobre camarones de diferente talla y edad.

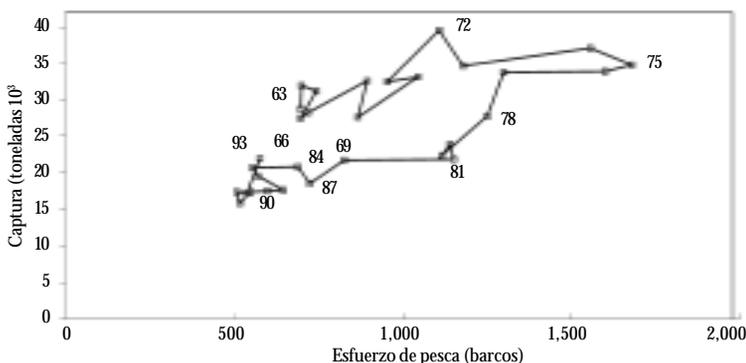
La pesca industrial por otro lado, es una actividad que exige una mayor inversión de capital por las embarcaciones y artes de pesca necesarias para la explotación del camarón en su etapa adulta en altamar. Asimismo, el consumo de energía que requieren las unidades de pesca es alto. La pesquería industrial se caracteriza por una organización compleja, que incluye emparadoras y comercializadoras. Los empleos generados, además de los directamente relacionados con la actividad pesquera misma, son variados y están relacionados con los productos y servicios necesarios para la operación de barcos, plantas, comercializadoras, etc. Las artes de pesca que se emplean son las redes de arrastre que operan en el fondo marino con tracción de los mismos barcos camaroneros.

DESARROLLO DE LA PESQUERÍA

La pesquería de camarón en el Golfo de México se inició durante los años de 1950, y como todas las pesquerías de camarón presentaron un rápido desarrollo hasta alcanzar su máxima explotación durante la década de 1970. En este período se alcanzó una producción récord de 39,500 toneladas con la participación de las flotas camaroneras de México, EE.UU. y Cuba en la pesquería (figura 1), que llegó a soportar un esfuerzo pesquero de 1,100 barcos arrastreros (Gracia y Vázquez Bader 1999). Posteriormente, a partir de 1980 solamente la flota mexicana participó en la explotación del recurso con una disminución del número de barcos participantes que en la actualidad es menor a 700. En este período, la producción total anual disminuyó hasta cifras superiores a 20,000 toneladas anuales. Cabe señalar que las estimaciones de la existencia de camarón antes de 1984 señalaban un rendimiento máximo sostenible de 10,000 toneladas para la zona de Tamaulipas-Veracruz, 30,000 toneladas para el Banco de Campeche y 2,000 toneladas para el Caribe Mexicano (Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). Estas estimaciones en conjunto indican un potencial superior al registrado en las últi-

mas décadas que reflejan los niveles de explotación a que ha sido sometido el recurso. Cada una de las principales especies tiene una historia particular que ha repercutido en su potencial de explotación.

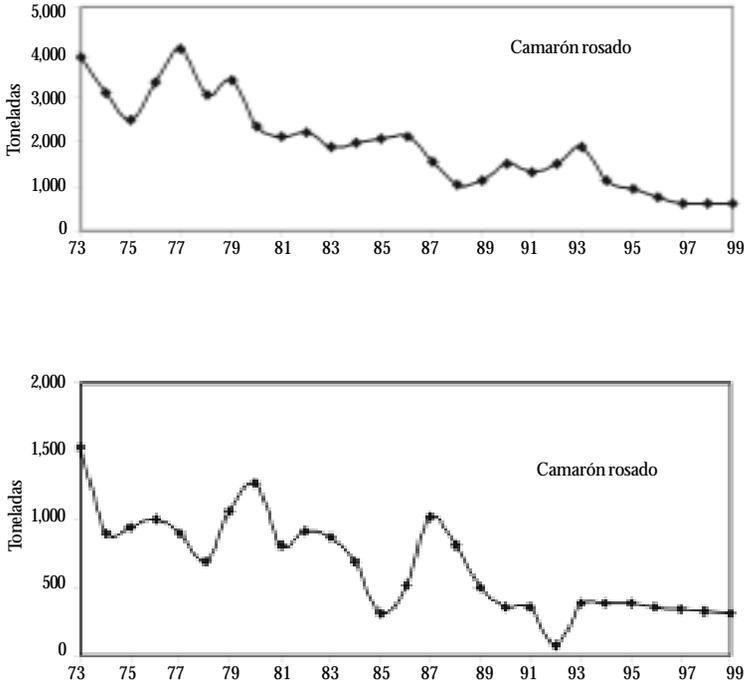
FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LA CAPTURA Y ESFUERZO DE PESCA TOTAL EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DEL GOLFO DE MÉXICO



CAMARÓN ROSADO

La pesquería de camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* fue la más importante del Golfo de México en términos de volumen en el siglo pasado con un rendimiento máximo sostenible estimado entre 4,000-11,000 toneladas anuales (abdómenes) (Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). La explotación de esta especie comenzó en la década de 1950 y alcanzó su explotación plena en el decenio de 1970. A partir de 1980, la producción presentó una tendencia negativa sostenida que desembocó en los niveles bajos registrados en años recientes, los cuales son cercanos al 10% de la producción anual media registrada en la historia de explotación de esta especie. El esfuerzo pesquero de la pesquería industrial que había llegado a su máximo, también registró una disminución debido al decremento en el recurso disponible en altamar (figura 2).

FIGURA 2. PRODUCCIÓN DE CAMARÓN ROSADO *FARFANTEPENAEUS DUORARUM* Y CAMARÓN BLANCO *LITOPENAEUS SETIFERUS* EN LA SONDA DE CAMPECHE



Paralelamente durante los años de 1980 apareció una pesquería sobre el camarón rosado juvenil pequeño (1.2-11.5 cm de longitud total) dentro de las áreas de crianza y se incrementó fuertemente su explotación. De acuerdo con Gracia (1995), la captura de camarones de 25 a 60 días de edad causó una sobrepesca de crecimiento de *F. duorarum* que después derivó en una sobrepesca de reclutamiento. Este mismo autor señala que la captura de tallas pequeñas tiene un impacto negativo sobre la producción total, ya que al no permitirse la expresión del crecimiento de los juveniles se pierde una proporción de 7.5-10 kg por cada kilogramo de camarón rosado juvenil capturado.

CAMARÓN BLANCO

La pesquería de camarón blanco *Litopenaeus setiferus* alcanzó su nivel máximo de explotación también durante la década de 1970, cuya producción máxima registrada fluctuó entre 1,200-2,200 toneladas anuales. El rendimiento máximo sostenible para este período fue estimado en 1,650 toneladas (Gracia 1989). Al igual que el caso del camarón rosado, después de 1980 se presentó una tendencia de disminución sostenida hasta niveles de producción muy bajos.

A lo largo de su historia, la pesquería de camarón blanco ha estado sujeta a tres tipos de pesquerías. Inicialmente, el camarón blanco como la mayoría de los peneidos, soportó una pesca artesanal sobre juveniles en el interior de las lagunas costeras y una pesca secuencial sobre la etapa adulta en altamar con barcos arrastreros. La acción de ambas pesquerías situó al recurso en su máximo nivel de explotación en los años de 1970. Adicionalmente durante la década de 1980 apareció una nueva pesquería artesanal sobre camarón blanco en el ambiente marino con redes de deriva. Estas artes de pesca actúan principalmente sobre camarones adultos en etapa reproductiva, de talla y valor económico alto, y además tienen una alta efectividad y rentabilidad por los bajos costos de inversión para el proceso de captura (Gracia 1996). Esta alta rentabilidad provocó un crecimiento explosivo de la pesquería artesanal paralela, en particular sobre los reproductores de camarón blanco, con lo cual se incrementó además el esfuerzo pesquero total sobre la población de camarón blanco más importante en el Sur del Golfo de México. Gracia (1996) señala que este factor causó una sobrepesca del reclutamiento que ocasionó el colapso de la pesquería de camarón blanco.

CAMARÓN CAFÉ

El camarón café *Farfantepenaeus aztecus* se ha convertido en la especie más importante del Golfo de México ya que prácticamente soporta la pesquería de camarón en el área debido a que el recurso se encuentra en mejores condiciones que las otras pesquerías. La explotación de camarón café tiene una historia similar que las otras dos especies y alcanzó el máximo nivel de aprovechamiento en la década de 1970, con estimaciones de un Rendimiento Máximo Sostenible de 10,000 toneladas (Castro *et al.* 1982, Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). Es precisamente durante este periodo cuando también se

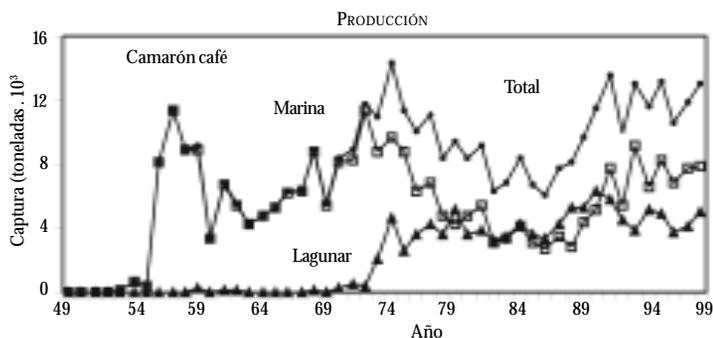
inicia la pesquería artesanal sobre juveniles en las áreas de crianza, principalmente en la Laguna Madre de Tamaulipas y Tamiahua de Veracruz. Esta actividad actualmente contribuye con aproximadamente el 40% del total de la producción de la especie.

El establecimiento de la pesquería artesanal coincidió con una tendencia negativa de la producción total y de la producción en altamar de camarón café, ya que estas pesquerías tienen una relación inversa. El crecimiento de la pesquería artesanal condujo a una sobreexplotación del crecimiento que repercutió en la biomasa residente de la población adulta. Con el fin de corregir este fenómeno se establecieron vedas temporales tanto en las áreas de crianza (45 días en junio-julio), como en la zona marina, con una duración que ha variado tanto en fechas como en extensión (45-90 días en mayo-julio). Los resultados de esta medida de manejo fueron altamente positivas y se registró un incremento de hasta 72% de la producción media total en su inicio (Gracia 1997). No obstante, la competencia entre las pesquerías secuenciales por obtener una mayor participación del recurso están disminuyendo la efectividad de la medida (Gracia y Vázquez Bader 1999) y pueden derivar en una sobreexplotación con la consecuente reducción de la producción de camarón café (figura 3). La presión pesquera sobre el camarón café ha aumentado también por las vedas prolongadas de más de 6 meses, que se han establecido en la Sonda de Campeche para protección del camarón rosado y camarón blanco, y el aumento notorio de las existencias de camarón al levantamiento de la veda en Tamaulipas, que propiciaron un incremento del número de barcos arrastreros en el área. Este movimiento de flota hacia la zona de Tamaulipas se ha incrementado en los últimos años en respuesta a la baja abundancia de camarón blanco y camarón rosado en el sur del Golfo de México. Por otro lado, la pesquería artesanal en la Laguna Madre ha incrementado su inversión de esfuerzo pesquero previo a la veda para obtener mayor volumen del recurso. El incremento conjunto de la presión pesquera derivada de la pesca artesanal e industrial, de mantenerse, además de reducir los beneficios de la veda, tenderá a afectar el estado de la población de camarón en mejores condiciones en el Golfo de México.

RELACIÓN ENTRE LAS PESQUERÍAS

El incremento constante del esfuerzo de pesca derivado de la pesca artesanal se añade al correspondiente a la presión de pesca de altamar que ya había llegado a los máximos recomendables en el recurso camarón. De esta for-

FIGURA 3. PRODUCCIÓN DE CAMARÓN CAFÉ *FARFANTEPENAEUS AZTECUS* DE LAS PESQUERÍAS ARTESANAL E INDUSTRIAL EN EL ÁREA DE TAMAULIPAS-VERACRUZ. LAS LÍNEAS PUNTEADAS INDICAN EL DESCENSO DE LA CAPTURA DE CAMARÓN EN ALTAMAR Y TOTAL, CONFORME SE INCREMENTA LA CAPTURA ARTESANAL LAGUNAR (LÍNEA CONTINUA) Y VICEVERSA



ma, se tiene un escenario en que se registra un esfuerzo total sobre las diferentes poblaciones de camarón nunca alcanzado en su historia de explotación. Como resultado, la producción total de camarón ha presentado una tendencia negativa constante desde la década de 1980. Esto condujo a la pesquería de camarón del Golfo de México a una nueva situación con una producción total 40% menor a la máxima registrada durante los años 70 (figura 4).

La reducción en la producción global de camarón del Golfo de México se debe principalmente a los colapsos ocurridos en las pesquerías de camarón blanco y rosado de la Sonda de Campeche (figura 2). Ambas pesquerías han mostrado una reducción drástica de las capturas que ha situado su producción en menos del 20% de la producción anual media máxima de cada pesquería. Las causas que se han argumentado para este colapso son varias: 1) contaminación, 2) pérdida de áreas de arrastre, 3) deterioro de las áreas de crianza, 4) incremento de esfuerzo pesquero artesanal y 5) mayor poder de pesca de la flota industrial (Gracia 1995).

Los elementos mencionados no son necesariamente excluyentes y pueden interactuar entre sí y repercutir en el estado de las poblaciones (figura 5). Sin embargo, el factor principal responsable de la declinación de las pesquerías en gran medida es el incremento sustancial del esfuerzo pesquero artesanal en la

FIGURA 4. TENDENCIA DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE CAMARÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

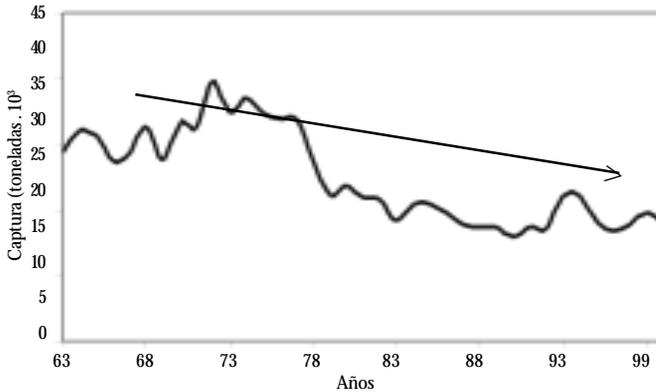
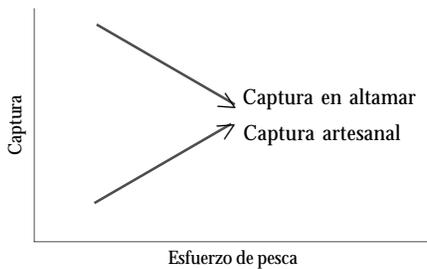


FIGURA 5. INTERACCIÓN DE LAS PESQUERÍAS SECUENCIALES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAMARÓN.



etapa juvenil temprana del camarón rosado y de la etapa juvenil y adulta por una nueva pesquería artesanal marina en el camarón blanco (Gracia 1997, 1998, 1999). Por otro lado, es conveniente resaltar que una población diez-
mada es más susceptible a factores negativos externos y no tiene el mismo potencial para aprovechar oportunamente las “ventanas” medioambientales favorables. Este es un aspecto fundamental derivado de la estrategia

reproductiva de estos organismos (Gracia 1991, 1996) que les ha permitido su éxito en el ecosistema y también al desarrollo de las grandes pesquerías.

El incremento de esfuerzo pesquero artesanal sobre juveniles de camarón ocasiona, como se ha mencionado, una sobrepesca de crecimiento. Las estimaciones realizadas mediante modelación indican que se reduce la incorporación de biomasa a la población marina en proporciones de 1: 3, 1: 4 y 1: 9 para camarón blanco rosado y café, respectivamente, con las estrategias de pesca artesanal actuales para cada especie (Gracia 1998). La reducción de biomasa en altamar por la pesca artesanal, también tiene una repercusión en el potencial reproductivo, lo cual de acuerdo con estimaciones realizadas (Gracia 1997), puede ser comparativamente más importante que la reducción derivada de la pesca industrial. Por otro lado, la pesca artesanal marina paralela a la industrial de altamar sobre camarón blanco causó una sobrepesca del reclutamiento (Gracia 1996). Ambos factores en conjunto han propiciado una disminución de la biomasa total disponible con sus repercusiones en el potencial reproductivo de las especies y en el aprovechamiento óptimo de las pesquerías de camarón.

Aunque el crecimiento descontrolado de la pesca artesanal es uno de los factores causantes del colapso de las pesquerías de camarón blanco y rosado y que también pone en riesgo la del camarón café, la pesca industrial también participa en el crecimiento del esfuerzo pesquero total. El esfuerzo pesquero total acumulado en las diferentes etapas del ciclo de vida de camarón se traduce en altos niveles de explotación que en conjunto han incrementado la presión de pesca y han afectado el potencial reproductivo de las poblaciones.

ESTRATEGIAS DE MANEJO

Dadas las presiones excesivas sobre el stock reproductor, las estrategias de manejo de las pesquerías de camarón deben considerar su protección. Esto está relacionado con el debate sobre la existencia de la relación stock-reclutamiento en camarones peneidos. Existe literatura que documenta estas relaciones en varias especies, entre ellas las del Golfo de México (Gracia 1991, Cervantes 1999), por lo que es factible y deseable considerar los límites mínimos de biomasa reproductora. Adicionalmente, los colapsos presentados corroboran la necesidad de establecer estrategias de manejo en relación con los niveles críticos del stock reproductor. Una estrategia puede ser dirigir las acciones de manejo a las generaciones principales y mantener al stock alrede-

dor de 20% de la biomasa reproductora virgen (Gracia 1996). Esto permite preservar a las poblaciones (en la parte asintótica de la curva) con un potencial reproductivo adecuado para responder positivamente a las variaciones ambientales (figura 6), con lo cual, en determinado tamaño de población reproductora se puede tener un incremento de hasta el 100% en el número de reclutas si las condiciones medioambientales son propicias (Gracia 1991).

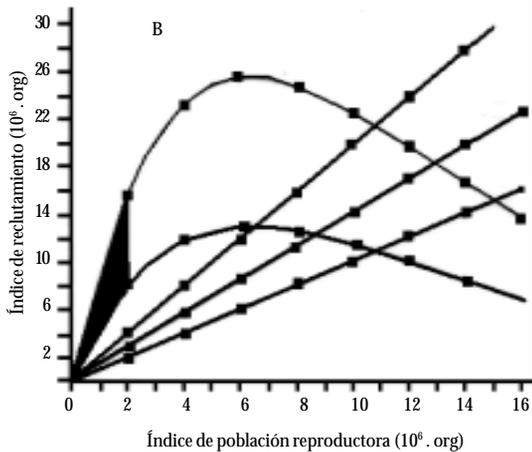
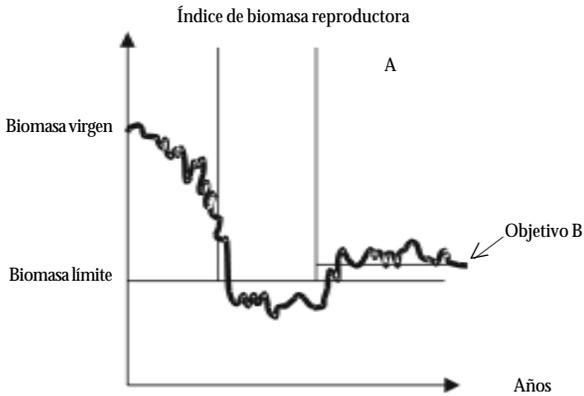
Con el fin de considerar las diferentes pesquerías, este punto de referencia puede ser ligado con información de las diferentes etapas del camarón y diseñar estrategias basadas en un escape mínimo de cada una de ellas. Para el diseño de estas estrategias de manejo es necesario contar con información sobre: 1) el reclutamiento tanto en las áreas de crecimiento, como en la zona marina, 2) niveles de esfuerzo de las diferentes pesquerías, 3) parámetros biológicos, y 4) niveles críticos de la relación stock-reclutamiento. El escape de organismos en los diferentes estados puede ser asegurado básicamente a través de: 1) cuotas de captura, 2) reducción del esfuerzo de pesca mediante vedas espaciales y/o temporales y 3) monitoreo de la captura por unidad de esfuerzo en las diversas pesquerías. Por supuesto, esto requiere de una vigilancia y cumplimiento real de las reglamentaciones para asegurar el éxito de las estrategias de manejo.

El control del esfuerzo pesquero es uno de los aspectos críticos para la conservación y aprovechamiento del recurso camarón. Los actores de la pesquería constantemente solicitan mayor participación en la obtención de biomasa de camarón, y a pesar de que existen limitaciones establecidas del esfuerzo pesquero y medidas de control como las vedas temporales, por lo general ocurren presiones de tipo social y político que disminuyen o anulan la efectividad de las medidas. Sin embargo, es urgente reconocer que el recurso pesquero tiene límites biológicos que es necesario respetar para su conservación y óptimo aprovechamiento.

También es conveniente mencionar que la utilización de camarón silvestre actualmente se encuentra en un nuevo escenario, en el cual los precios del producto están fuertemente presionados por la oferta de camarón de acuicultura, principalmente proveniente de Asia. En esta situación las tallas pequeñas son las más afectadas, por lo que una alternativa es la obtención de tallas mayores de mejor precio. No obstante, esto implicaría reorientar las estrategias de explotación de las pesquerías artesanales e industriales y considerar una serie de factores sociales, políticos y económicos.

En este sentido, el establecimiento de una estrategia de manejo basado en

FIGURA 6. LÍMITES DE REFERENCIA DE LA BIOMASA REPRODUCTORA Y MODELO DE STOCK-RECLUTAMIENTO DE CAMARÓN. (A) EL OBJETIVO B SERÍA EL NIVEL DE BIOMASA REPRODUCTORA A PRESERVAR PARA MANTENER EL POTENCIAL REPRODUCTIVO EN CONDICIONES ADECUADAS PARA APROVECHAR LOS FACTORES AMBIENTALES PROPICIOS, COMO SE OBSERVA EN LA RELACIÓN STOCK-RECLUTAMIENTO (B).



el escape de organismos puede en primera instancia reducir la sobrepesca del crecimiento, incrementar las tallas, y a mediano plazo incrementar el potencial reproductivo de las poblaciones de camarón. Los estudios de resiliencia en poblaciones de camarón muestran que éstos tienen una alta capacidad de respuesta para recuperarse de la sobreutilización (Gracia 1996). Por otro lado, medidas de manejo dirigidas a corregir la sobrepesca del crecimiento en camarón café muestran que la protección de juveniles y de su reclutamiento han resultado en incrementos sustanciales de la producción (Gracia 1997). Estas características permiten tener grandes expectativas relacionadas con la recuperación y aprovechamiento sustentable del recurso camarón si se establecen las estrategias adecuadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreguín-Sánchez, F. y E. A. Chávez 1985. Estado del Conocimiento de las pesquerías de camarón en el Golfo de México. *Inv. Mar., CICIMAR, México*, 2 (2): 23-44.
- Castro, R. G., M. Medellín, E. Rosas y R. Orta 1982. *La pesquería de camarón en las lagunas litorales del Noreste del Golfo de México*. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Tampico, Tamps. Instituto Nacional de la Pesca: 1-12.
- Cervantes Hernández, P. 1999. Relaciones stock-reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* en el Banco de Campeche. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México: 37 pp.
- Gracia, A., 1989. Ecología y pesquería del camarón blanco *Penaeus setiferus* en la laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis Doctoral, Fac. de Ciencias, UNAM. Mexico. 127 pp.
- 1991. Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern Gulf of Mexico. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 120: 319-327.
- 1995. Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939. *Ciencias Mar.*, 21 (3): 343-359.
- 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. *Mar. Freshwater Res.*, 47: 59-65.
- 1997. Simulated and actual effects of the brown shrimp, *Penaeus aztecus*, closure in Mexico. *Mar. Fish. Rev.*, 59 (2): 18-24.
- 1998. Pesquería Artesanal del Camarón. En: D. Flores Hernández, P. Sánchez-Gil, J. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). *Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México*. EPOMEX, Serie Científica 4, 1998, Universidad Autónoma de Campeche.
- 1999. Shrimp Fisheries in the South Gulf of Mexico. Present and Future Management Alternatives. En: Kumpf, H., D. Steidinger y K. Sherman. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability, and Management*. Blackwell Science, Berlín: 205-234.

LA SUSTENTABILIDAD DE LAS PESQUERÍAS DEL GOLFO DE MÉXICO

*Antonio Díaz-de-León, José Ignacio Fernández, Porfirio Álvarez-Torres,
Oscar Ramírez-Flores y Luis Gerardo López-Lemus*

INTRODUCCIÓN

Ludwig *et al.* (1993) establecen que una constante en el uso de los recursos naturales es que son “inevitadamente sobreexplotados, frecuentemente al punto del colapso o la extinción”. La sobrepesca es una amenaza ampliamente extendida (Dayton *et al.* 1995, Schiermeier 2002, Rosenberg 2003) en donde se considera a la remoción de depredadores finales (Christiansen *et al.* 2003, Myers y Worm 2003, Sala *et al.* en prensa) como la primera causa de impactos a los ecosistemas marinos y el primer indicador del deterioro de los mismos (Goñi 1998, Pauly *et al.* 1998, Jackson *et al.* 2001, Sala *et al.* en prensa). Asimismo, los ecosistemas han sido alterados también por contaminación y deterioro del hábitat y de las áreas de crianza, (Rosenberg 2003a). Además, las necesidades sociales de corto plazo (alimentación, empleo, ingreso) y la estructura institucional son determinantes en la administración de los recursos.

El manejo pesquero tradicional aplica controles de entrada (esfuerzo) y salida (captura) (Hilborn y Walters 1992, Haddon 2002). Recientemente se han propuesto alternativas: Pauly *et al.* (2002), Sainsbury y Sumaila (2003) y Gell y Roberts (en prensa) sugieren, dado el alto grado de incertidumbre que enfrenta la administración pesquera, que es necesario cerrar porciones de zonas de pesca (áreas naturales protegidas marinas), establecer límites

más altos de mortalidad por pesca sobre los *stocks* amenazados (restricción de esfuerzo), medidas de funcionamiento en términos pesquero-ecosistémicos y de sustentabilidad, aplicar el principio precautorio (Rosenberg 2003) así como enfoques holísticos de manejo de grandes ecosistemas marinos (Steidinger y Sherman 2000, Duda y Sherman 2002).

Por lo anterior, para que el manejo pesquero sea efectivo y revierta el deterioro causado es necesario considerar: (1) el uso óptimo sostenible de los recursos y el mantenimiento de los valores naturales (como la diversidad genética) en el largo plazo, (2) la preservación de la integridad de los ecosistemas en su estructura y función, (3) estructuras de manejo que reconozcan la complejidad de los mismos, y (4) indicadores de niveles de salud de los recursos, viabilidad económica, aceptación social y gobernabilidad.

En relación con los indicadores de sustentabilidad, Arenas y Díaz-de-León (1998), plantean una propuesta inicial de cómo avanzar hacia la sustentabilidad en pesquerías de países como México. Dos años después se presenta un indicador simple de sustentabilidad en la pesca en México (INE-INEGI 2000). La FAO (2000), genera una orientación hacia el establecimiento de un Sistema de Referencia para el Desarrollo Sostenible de la Pesca. La OECD ha iniciado una revisión de indicadores pesqueros y de los necesarios para transitar hacia la pesca responsable (Le Gallic 2002). Chuengpagdee y Alder (2002) han ordenado a países del Atlántico del Norte en función de indicadores de sustentabilidad.

En este apartado se muestra que en el Golfo de México hay una tendencia decreciente en la captura, producto de una sobrecapacidad de pesca y de un manejo inadecuado (Díaz y Díaz 2001). Se plantean los antecedentes de la construcción del primer diagnóstico pesquero-ambiental, los resultados de los primeros indicadores de deterioro de las principales pesquerías, y se presenta una propuesta para avanzar en la construcción de un esquema que permita lograr la sustentabilidad de las pesquerías en la región, mostrando como ésta no se ha alcanzado en la principal pesquería de la región: la del camarón.

EVOLUCIÓN DE LAS CAPTURAS Y LA CAPACIDAD DE PESCA EN EL GOLFO DE MÉXICO

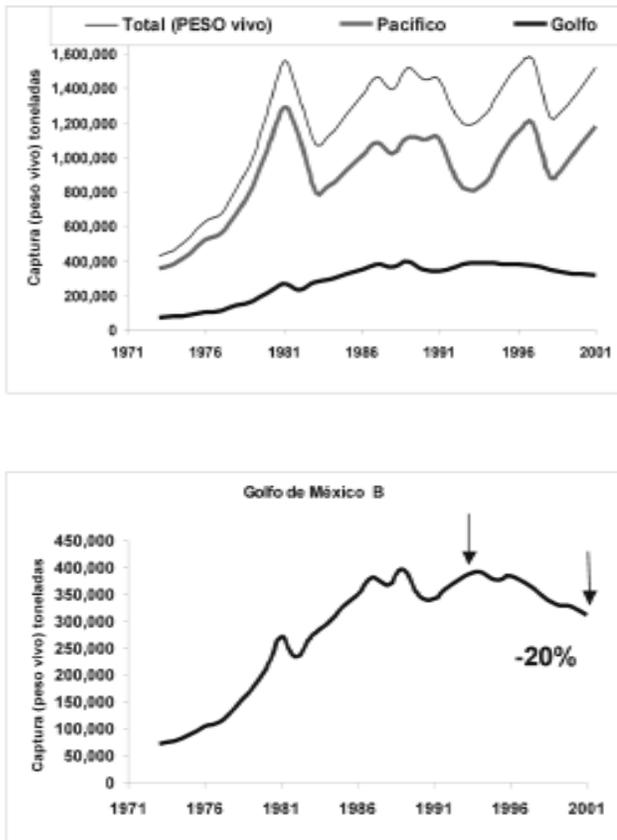
El mayor desarrollo de la pesca en México se da a fines de los años setenta cuando se crea el Departamento de Pesca y se hacen importantes inversiones en flota y planta industrial propiedad del Estado. Las capturas crecieron a más de millón y medio de toneladas en 1981 y, después de caer a cerca de un millón de toneladas en 1983, han oscilado alrededor de un millón y medio

desde entonces (figura 1A).

En el Golfo de México la captura alcanzó su máximo histórico al pescarse casi 400 mil toneladas a fines de los ochenta. Desde entonces ha habido un descenso de 20% (figura 1B).

Las principales especies que se capturan en el Golfo de México son cama-

FIGURA 1. CAPTURA PESQUERA HISTÓRICA TOTAL Y POR OCÉANOS EN MÉXICO (A)
Y CAPTURA HISTÓRICA DEL GOLFO DE MÉXICO (B)



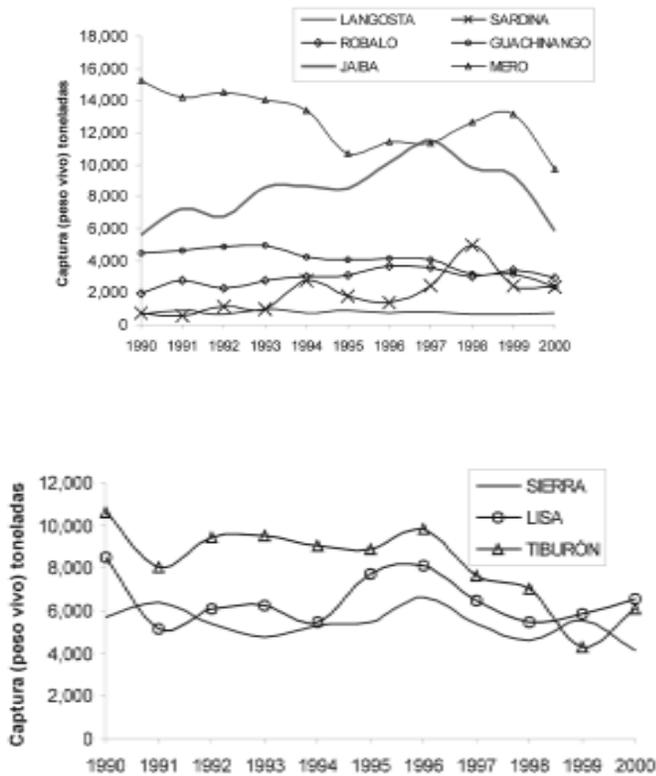
Fuente: Anuarios estadísticos pesqueros.

rones, pulpos, meros, jaibas, robalos, huachinangos, sardinas, atunes, langostas, tiburones, lisas y sierras.

A excepción del pulpo y los atunes, en los que las capturas se han mantenido con un crecimiento moderado, pasando en los últimos 10 años de 15 a 20 mil toneladas de pulpo y de 1,000 a 3,500 toneladas de atunes, el resto de las pesquerías en el Golfo muestran un comportamiento decreciente (figura 2).

La flota industrial ha tendido a disminuir en número, aunque no en su

FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DE LAS CAPTURAS EN LA ÚLTIMA DÉCADA DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS DEL GOLFO DE MÉXICO. FUENTE ANUARIOS ESTADÍSTICOS PESQUEROS



poder de pesca. La flota más importante en el Golfo de México es la camaronera (742 barcos), la cual se concentra en los estados de Campeche (316) y Tamaulipas (290). A ésta le sigue la flota escamera con 795 embarcaciones, que se concentra principalmente en Yucatán (636), aunque está presente en todos los estados del Golfo.

La flota artesanal ha presentado un crecimiento del 700% en las últimas tres décadas (Sagarpa 2002). Un poco más del 46% (43,392 embarcaciones) de la flota de pesca artesanal nacional faena en el Golfo de México. Destaca Veracruz con la flota más numerosa (15,898), seguido de Tabasco (9,601), Tamaulipas (6,662), Campeche (5,362) y Yucatán (4,981).

Por otra parte el ingreso derivado de la pesca está mal distribuido. Los pescadores del Golfo de México reciben por su trabajo la quinta parte del ingreso promedio de los que pescan en las aguas del Golfo de California (INEGI 2000).

Los análisis desarrollados por los autores muestran que existe un problema de sobrecapacidad de la flota artesanal e industrial. La flota industrial camaronera tiene la capacidad de capturar entre 8 y 16 veces las capturas del 2001. La flota artesanal e industrial para la captura de escama puede capturar entre 9 y 18 veces las capturas obtenidas en el 2001.

La situación de deterioro de los recursos, aunada a la sobrecapacidad en ambas flotas, a los niveles de ingreso y a un manejo débil por parte del órgano de manejo y regulación de la pesca, han generado conflictos en Tamaulipas (camarón), Tabasco y Campeche (pesca-petróleo), Campeche (camarón), Campeche y Yucatán (pulpo, Celestun-Isla Arena), Yucatán (mero y pulpo, arrastreros, pesca cubana) y es de esperar si no se enfrenta y resuelven los problemas arriba mencionados, éstos se agudizarán y otros nuevos se presentarán (ver Nadal-Egea 1996, Cabadas-Nápoles 2002 y León y Gómez, en prensa).

INSTRUMENTOS DE DIAGNÓSTICO Y REGULACIÓN PESQUERO-AMBIENTAL (SUSTENTABILIDAD Y PESCA RESPONSABLE Y LA CARTA NACIONAL PESQUERA 2000)

En la administración de 1994 a 2000, ante el planteamiento de que el órgano de manejo y regulación pesquero nacional (Subsecretaría de Pesca, hoy CONAPESCA) no contaba con elementos científicos que sustentaran el ordenamiento pesquero nacional, como lo establecía el Plan Sectorial de Pesca y Acuicultura 1995-2000, el Instituto Nacional de la Pesca (INP) orientó sus esfuerzos a desarrollar investigación para el manejo pesquero. En 1998 el INP

publicó los primeros resultados sistematizados (INP 1998), en los que utilizando los últimos procedimientos analíticos apropiados para el caso definía el estado de salud de las 18 principales pesquerías comerciales (109 especies), mismas que representaban el 65% de las capturas nacionales y el 69% del valor de estas capturas. Este documento se actualizó para el periodo 1999-2000 (INP 2001), y se realizaron los proyectos *Catálogo de Artes de Pesca en México, Estado de Salud de la Acuicultura y Estado de Salud de los Ecosistemas Costeros y de las Especies Marinas en estatus de protección*. Con lo anterior, se aportaron elementos de apoyo científico- técnico y se dotó de una integralidad asociada al ecosistema, útil para el manejo integral de las pesquerías.

Los análisis mencionados mostraban que, en el Golfo de México, se encontraban en franca sobreexplotación pesquerías como las de mero y caracol rosado. También mostraban, que el espacio de crecimiento de la actividad era limitado en las pesquerías tradicionales y que la mayor parte de estos recursos explotados se encontraban a niveles máximos de explotación.

Realizado el primer diagnóstico pesquero-ambiental, el órgano de manejo y regulación planteó no contar con recursos para llevar a cabo el Ordenamiento Pesquero Nacional (*Programa Prioritario del Plan Nacional de Acuicultura y Pesca 1995-2000 y ahora del 2001-2006*), y que los recursos existentes, estaban preasignados a otras actividades.

En 1999 durante la revisión pública del reglamento de la Ley de Pesca de 1992, el INP propuso que se definieran con claridad y transparencia en la Carta Nacional Pesquera, el estado de los recursos, su inventario, la cantidad de esfuerzo pesquero máximo aplicable y las medidas de manejo, regulación, aprovechamiento y conservación de los recursos y su hábitat. La Carta Nacional Pesquera se convirtió en un instrumento regulatorio, y no únicamente en un instrumento informativo, una visión cartográfica de la pesca que había sido publicada por última vez en 1994.

En su primera edición, se convocó públicamente a participar en la elaboración de la CNP 2000 durante los primeros tres meses del año 2000. Los académicos, los usuarios, otras instancias gubernamentales y las organizaciones no gubernamentales opinaron, presentaron argumentos científicos y encontraron por primera ocasión un canal abierto de participación e interlocución.

En julio del 2000, se organizó el XII Congreso Nacional de Oceanografía por parte del INP, la ASOCEAN y la Red Oceanográfica Pesquera Mexicana, que buscaba entre otras cosas presentar los resultados a la comunidad científica, creando un ambiente propicio y de intercambio de información aso-

ciado a la elaboración de la Carta Nacional Pesquera 2000 (SEMARNAP 2000).

La Carta Nacional Pesquera fue presentada el 18 de agosto por el Presidente de la República mediante un discurso en el que se manifestaba preocupación por la pesca en México y publicada ese mismo día y el 28 de ese mes el anexo. Así se construyeron los primeros instrumentos de diagnóstico pesquero-ambiental gubernamentales para el ordenamiento pesquero, que presentan las bases científicas para identificar indicadores biológicos del grado de deterioro de los recursos pesqueros y de su hábitat en México. Adicionalmente han existido diagnósticos pesqueros del Golfo de México (Shipp 1999, Arreguin *et al.* 2000), pero ninguno con carácter regulatorio. La Carta Nacional Pesquera es hoy el único instrumento regulatorio pesquero-ambiental de carácter general que indica el estado de salud de los recursos pesqueros en México y plantea restricciones y límites a la pesca. Versiones de este proceso son las de Alvarez *et al.* (2002), Díaz-de-León *et al.* (en prensa) y Hernández y Kempton (2003).

INDICADORES DE SALUD DE LAS PESQUERÍAS (GRADO DE DETERIORO)

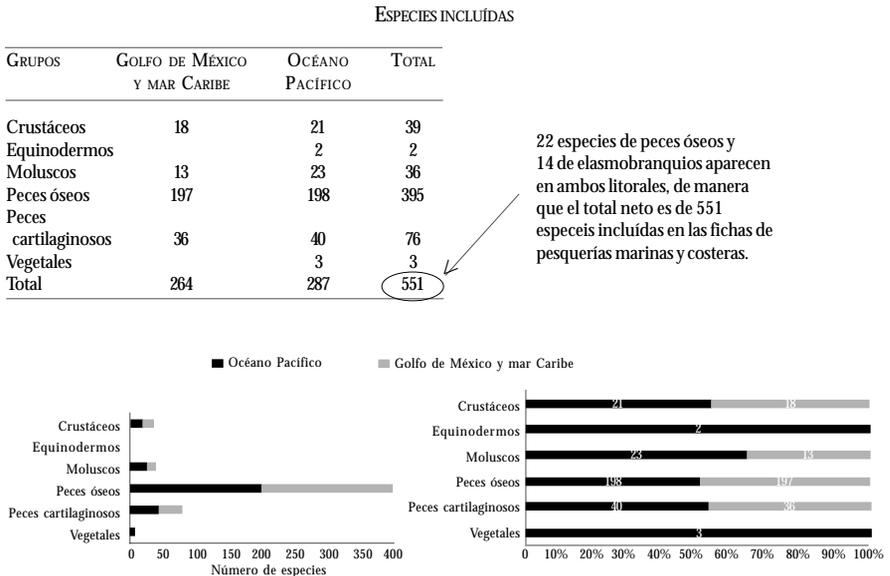
La CNP 2000 analiza, en el caso de las pesquerías marinas, el estado de alrededor de 551 especies en ambos litorales (264 en el Golfo y 287 en el Pacífico), que comparten 36 especies comunes, pertenecientes a cinco grupos taxonómicos en el Golfo de México y a seis en el Pacífico e identifica la importancia de cada uno de estos grupos (figura 3).

Asimismo, identifica 65 unidades pesqueras de manejo (UPM), cuya definición es más avanzada y está relacionada con el hecho de que los recursos deben manejarse y administrarse, y no solo usarse o explotarse, acotando de manera más precisa la anterior categoría denominada pesquería. De éstas, 28 están ubicadas en el Golfo de México y 37 en el Océano Pacífico Mexicano. Estas UPM representan el 90% de las capturas y del valor de la pesca extractiva en México.

El diagnóstico pesquero ambiental en el país muestra que casi el 82% de estas UPM se encuentran totalmente explotadas, con pocas posibilidades de crecer, y que de éstas casi el 25% (16) exige intervención inmediata para reconstruirlas y recuperarlas. También muestra que 18.5% (12) de las UPM están subexplotadas (figura 4).

Analizando el estado de salud de las 28 UPM que se explotan en el Golfo de México, notamos que 79% (22) está completamente explotadas (camarón café en Tamaulipas y Veracruz; camarón rojo y de roca en Contoy, Quintana

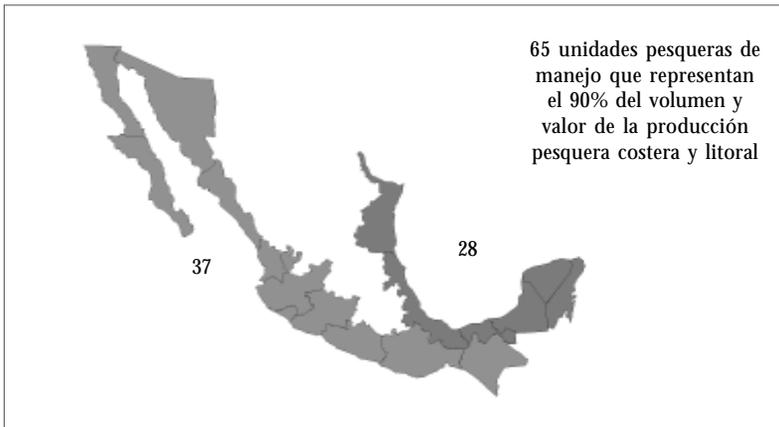
FIGURA 3. ESPECIES MARINAS INCLUIDAS EN LA CARTA NACIONAL PESQUERA 2000



Roo; cangrejo, jaiba en Tamaulipas y Veracruz; langosta en Yucatán; bagre en Veracruz y Campeche; corvinas, huachinangos y pargos, lisas y lebranchas, róbalo y chucumite, sardina, sierra y peto, pulpo rojo y tiburones, entre otras), y que de éstas el 25% requiere intervención urgente para restaurarlas del estado de deterioro en el que se encuentran (camarón blanco y rosado de la Sonda de Campeche, caracol, jaiba en Campeche, langosta en Quintana Roo; armado y xlavita en Campeche y el mero, la cherna y el abadejo). El 21% de las UPM restantes (atún del Golfo, camarón 7 barbas en Campeche; jaiba de Yucatán y Quintana Roo; armado y xlavita en Yucatán; bagre en Tabasco y pulpo patón), están subexplotadas (figura 5).

García y De Leiva Moreno (2001) analizan la base de datos de la FAO en la que se encuentran 441 stocks del mundo con información disponible, y concluyen que 4% parecerían estar subexplotados, 21% moderadamente explotados, 47% completamente explotados, 18% sobrepescados, 9% acabados y 1% en recuperación.

FIGURA 4. ESTADO DE SALUD DE LAS PESQUERÍAS EN MÉXICO A PARTIR DEL DIAGNÓSTICO PESQUERO AMBIENTAL DE 65 UNIDADES PESQUERAS DE MANEJO (HERNÁNDEZ Y KEMPTON 2002 Y DÍAZ-DE-LEÓN *ET AL.* EN PRENSA) DE LA CARTA NACIONAL PESQUERA 2000
FUENTE: SEMARNAP 2000



El cuadro 1 muestra el grado de explotación de los recursos pesqueros en el mundo y en México con base en datos de García y De Leiva Moreno (2001) y la Carta Nacional Pesquera 2000.

Estos indicadores de salud, ubican a México, comparado con el mundo, como un país con una mayor proporción de recursos pesqueros totalmente explotados y con menos opciones de crecimiento pesquero, aunque con un deterioro marginalmente menor. Sin embargo es de esperarse que dado que el 57% de UPM que se encuentran totalmente explotadas, pasen rápidamente a una condición de deterioro.

En el Golfo de México la tendencia se mantiene: disminuyen los espacios potenciales de crecimiento y de deterioro, pero aumenta el nivel de recursos en saturación o máxima explotación, mismo que cambiará en el tiempo hacia el deterioro. Lo anterior, de no ejecutarse acciones de remediación inmediatas, generará condiciones crecientes de conflicto político en el manejo efectivo en la zona, como ha sucedido en otras regiones (Rosenberg 2003) (figura 6).

En estos casos, mientras que las capturas han caído y los llamados de aten-

FIGURA 5. ESTATUS PESQUERO-AMBIENTAL DE 28
UNIDADES PESQUERAS DE MANEJO DEL GOLFO DE MÉXICO

GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE		CARTA NACIONAL PESQUERA 2000				
UPM	ESTATUS	UPM	NÚMERO	LITORAL	PORCENTAJE NACIONAL	
1. ATÚN	P	Con potencial	6	21.43	9.23	
Camarón		Aprovechado al máximo	15	53.57	23.08	
2. Café. Tamps. y Ver.	M	En deterioro	7	25.00	10.77	
3. Rosado. Sonda de Camp.	D	Total	28	100.00	43.08	
4. Blanco. Sonda Camp.	D					
5. Roca. Contoy	M					
6. Roca. Contoy	M					
7. Barbas. Tab. y Camp.	P					
8. Cangrejo	M	Crustáceos	15	3		
9. Caracol	D					
Jaiba		Moluscos	1	11	1	
10. Tamps. y Ver.	M	Peces óseos	16	172	5	
11. Campeche	D	Peces cartilaginosos	5	31		
12. Yuc. y Q. Roo	P					
Langosta						
13. Yucatán	M					
14. Q. Roo	D	ESPECIES	CON	APROVECHADO	EN	TOTAL
Armado y xlavita			POTENCIAL	AL MÁXIMO	DETERIORO	
15. Campeche	D	% litoral	8.22	86.74	4.92	100.00
16. Yucatán	P	% nacional	3.99	41.56	2.36	47.91
Bagre						
17. Ver. y Camp.	M					
18. Tabasco	P					
19. Corvina	M					
20. Huachinango y pargos	M					
21. Lisa y lebrancha	M					
22. Mero, chema y abadejo	D					
23.. Robalo y chucumite	M					
24. Sardina	M					
25. Sierra y peto	M					
Pulpo						
26. Rojo	M					
27. Patón	P					
28. Tiburón	M					

FUENTE: *DOF* 2000.

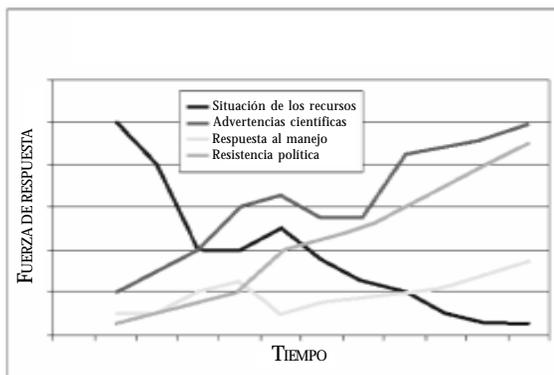
Claves: **P**: Con potencial de desarrollo
M: Aprovechada al máximo. **D**: En deterioro.

CUADRO 1. COMPARACIÓN DEL GRADO DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS PESQUEROS EN EL MUNDO Y EN MÉXICO (NACIONAL, PACIFICO Y GOLFO DE MÉXICO)

	MUNDO(FAO)	MÉXICO	PACIFICO	GOLFO DE MÉXICO
Potencial	25	18	16	21
T. explotado	47	57	59	54
Deteriorado	28	25	24	25

ción de los científicos sobre el estado de los recursos se han venido incrementando, la respuesta del manejo ha sido atrasada, desfasada y anacrónica, imposibilitando la reversión de las tendencias de deterioro y manteniendo argumentos en el sentido de que la economía y el empleo se verán afectados si se toman acciones consecuentes. Este argumento siempre estará presente en los casos de mal mane-

FIGURA 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS TÍPICOS DE MANEJO PESQUERO



Fuente: de Rosenberg 2003.

jo y sobrepesca de los recursos, y normalmente en lugar de encontrar formas de reducir la presión de pesca vía la previsión y encontrar empleos alternativos - que normalmente los encargados del manejo buscan desesperadamente cuando el problema ya les agobia-, buscan alternativas aparentes en la pesca o apoyos económicos al empleo o a la actividad (subsidios), que más que enfrentar el problema lo alargan y agravan en el tiempo.

Rosenberg (2003) sintetiza al respecto: 1) la sobrepesca es un problema persistente y presionante que *solo se solucionará pescando menos*, 2) una causa típica es que los incrementos aparentes en las poblaciones relajan inmediatamente las restricciones o regulaciones pesqueras, mientras que las respuestas a decrementos en las poblaciones son generalmente lentas y mínimas, 3) poder incrementar medidas correctivas es bastante difícil sobre todo al enfrentar la presión política que ejerce la industria pesquera, y 4) la previsión y el manejo utilizando el enfoque precautorio puede contrarrestar esta tendencia ambiental y comercialmente destructiva.

Lo que no se puede soslayar es que la salud de los recursos está directamente ligada al manejo adecuado de los recursos, del hábitat y del ecosistema con el consenso, responsabilidad y apoyo de los pescadores.

HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD EN LA PESCA

Ante la situación imperante, la construcción de indicadores de sustentabilidad en la pesca exige ampliar la visión parcial que proporciona de la biología de los recursos explotados hacia una integral de todos los elementos que interactúan en la actividad, mismos que son inherentes al manejo de los recursos marinos y de los ecosistemas en los que se encuentran. En el cuadro 2 se presentan los indicadores de sustentabilidad pesquera que se analizan a continuación. Insistimos en que hay que pasar de una visión de *política* (1) de recursos infinitos que permanece escondida en el discurso, pero que existe, a una que evalúe la integralidad y efectividad de las políticas públicas para revertir el deterioro y situar a los recursos y a la sociedad en las situaciones deseadas.

Lo anterior plantea definir y evaluar indicadores y estados de la naturaleza medibles que nos indiquen si se avanza y en qué medida hacia la sustentabilidad en las pesquerías. Son necesarios los elementos *biológicos* (2) asociados a los recursos que se capturan y a sus pesquerías; *tecnológicos* (3) asociados a los medios físicos y al esfuerzo con el que se capturan; *ambientales* (4), asociados a visiones de las relaciones que se dan entre los recursos y el

ecosistema, a los impactos que la actividad tiene en los recursos, en el hábitat y en el ecosistema, del papel que las áreas naturales protegidas juegan en la protección de la biodiversidad, recursos, zonas frágiles y en la exportación de recursos pesqueros. Lo *social* (5), representado por la existencia o no de derechos de propiedad; por el empleo, el ingreso y por el grado de seguridad alimentaria que el arreglo genera y por el uso y destino de los productos de la pesca; lo *económico* (6), por el grado de integración industrial, los costos y retornos de la actividad primaria, los costos de manejo, de uso y la existencia de instrumentos económicos garantes de la sustentabilidad; lo *legal* (7), por lo relacionado a la existencia de legislación, la inspección, vigilancia y cumplimiento y a las sanciones y penalizaciones, así como a la certeza jurídica de que gozan los participantes y la sociedad. La *gobernanza* (8) está representada por el grado de conflictividad, de acuerdo político administrativo, el grado de organización social de los actores y la existencia de canales que potencien la participación de la sociedad. La *fortaleza institucional* (9) puede ser dividida en *interna* cuando se miden las capacidades institucionales para realizar la labor en términos de recursos humanos, financieros, de definición de competencias y de coordinación interna y *externa* cuando se presentan indicadores operacionales que ayudan a que la sociedad perciba si la institucionalidad existente desempeña su trabajo hacia la sustentabilidad. Finalmente, el último indicador, la *conciencia pública* (10), que está relacionada a la percepción que la sociedad tiene sobre la sustentabilidad y en consecuencia a la capacidad que la sociedad tendría en su conjunto para cambiar el estado de las cosas hacia escenarios deseados o sustentables.

De entrada, la propuesta ayuda a entender que el problema de la sustentabilidad en la pesca va más allá de sólo mantener al recurso en buen estado de salud, aunque se reconoce que esta es una condición necesaria más no suficiente para avanzar en tal sentido y que el solo hecho de sobreexplotar y deteriorar los recursos plantea una condición de insustentabilidad. Esta primera propuesta busca integrar elementos anteriores y se presenta como un elemento para discusión y mejora (cuadro 2). Los indicadores pueden ser mejorados, balanceados o reducidos, sin embargo hacen operativo el concepto de sustentabilidad e identifican sobre todo, las áreas a mejorar en las que las políticas públicas tienen que incidir con mayor vigor y cómo se puede transitar hacia ella.

El avance hacia la sustentabilidad en la pesca se lograría cuando se transitara del estado I hacia el estado IV, del 25% hacia el 100%. Lo anterior puede ser medido –salvando algunos problemas metodológicos– de forma ordinal y así

CUADRO 2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PESQUERA

INDICADOR	POCA O NULA SUSTENTABILIDAD	
	I	II
1. Visión	Recursos infinitos	Recursos finitos
2. Recursos pesqueros	Maximización de capturas por nombre de recurso a usar	Biomasa (B) Estado de salud (por unidad a manejar)
3. Esfuerzo Tecnología	Máx. de lanchas y barcos Mercado define	Mortalidad x pesca (F) Regulación mínima
4. Manajo de pesquerías Impacto ambiental ANP (liga con pesca)	Uniespecífico No reconocimiento Desligadas	Por grupos de recursos Sí I. ambiental Cierta coordinación
5. Derechos de propiedad Empleo Seguridad alimentaria Uso de los recursos	Inexistentes Maximización Inseguridad <i>Status quo</i> o mercado	Vagos % de uso
6. Integración industrial Costos y retornos Costo de manejo Costos por derechos de uso Instrumentos económicos	El mercado define Mercado Mínimos Mínimos No	% de integración Ganancias de RMS En unidades selctas
7. Legislación y armonización jurídica Inspec., vigil. y cumplimiento Sanción y penalización Certeza jurídica	Genérica Mínima Admiinistrativa Inexistente	Marco jurídico existente Penal Débil
8. Conflictividad Arreglo sociopolítico Organziación social Participación	Creciente Vertical Inexistente Limitada	Enfrentada En proceso de cambio Dispersa Comités instalados

→ HACIA LA SUSTENTABILIDAD

→ MAYOR SUSTENTABILIDAD

III	IV
% de deterioro	Efectividad de las políticas de reversión
C/B total	C/B reproductiva
Potenciales	Puntos de referencia
Al máximo	P. manejo
Sobreexplotadas	P. recuperación
Deterioro	P. recuperación
F/Z mortalidad total	F/Z reproductiva
Regulada y controlada	Apropiada recursos, amb y ec.
	Por ecosistema y m. adaptativo
Evaluación I.A.	Restauración y mitigación de I.A.
Coordinadas	ANP con control
Semi derechos	Existentes y precisos
Suficiente para sostener	Saludable a la pesquería
	Existente
Deseado	Controlado
Deseado	
<RMS> MRE	% sostiene la actividad
	MRE o de sustentabilidad
	Adecuados a valor de recursos
En todas las unidades	Adecuados y ajustados a la sustentabilidad
Marco jurídico reforzado	Eficaz, eficiente
	Aceptada, eficaz, eficiente
	Acorde con el delito
	Eficaz y eficiente
Decreciente	Mínima
Horizontal	Mixto existente
Consolidada	Participativa, capacidad consensos
Funcionando	Informados aplicados

(Continúa)

CUADRO 2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PESQUERA

INDICADOR	POCA O NULA SUSTENTABILIDAD	
	I	II
9. Fortaleza instit. interna	E	
Capacidad financiera	Baja	Media
Definición de competencias	Difusa	Media
Coordinación intrainstitucional	Baja	Media
Fortaleza inst. externa		
Acceso a la información	Limitado	Agregada
Transparencia	Mínima	Administrativa
Rendición de cuentas	Mínima	Regular
Coord. interinstitucional	Baja	Media
Esquema	Centralizado	En proceso de cambio
10. Conciencia	Nula	Limitada

encontrar una métrica de avance a la sustentabilidad tanto por indicador como general. Posteriormente se podrían obtener estimadores y desarrollar inferencias no-paramétricas sobre los resultados de una serie de encuestas sobre esta propuesta. La propuesta intenta balancear los indicadores particulares asociados a los 10 grandes meta-indicadores mencionados. Esta propuesta facilita encontrar tanto indicadores parciales como uno global, que muestre cómo se puede transitar hacia la sustentabilidad. Un ejercicio piloto que realizamos, muestra que la mediana de los indicadores es aproximadamente 1.5, lo que nos indicaría un camino por andar hacia la sustentabilidad en la región. Finalmente, se pueden utilizar en escalas múltiples de organización y llevar a cabo comparaciones, es decir, desde una pesquería, una unidad de manejo, una región, un estado nacional, un litoral, un país, hasta un Gran Ecosistema Marino que involucre a varios países.

EL CASO DE LA PESQUERÍA DEL CAMARÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

Un ejemplo a considerar, en el marco de los indicadores arriba mencionados, es la

— — — — — → HACIA LA SUSTENTABILIDAD — — — — — → MAYOR SUSTENTABILIDAD	
III	IV
Incidente	Suficiente
Incidente	Precisa
Incidente	Suficiente
Desagregada	Accesible
Técnica y administrativa	Técnica, administrativa y política
Permanente	Efectiva
Incidente	Suficiente
Descentralizado	Mixto
En crecimiento	Conciencia informada

pesquería de camarón. En el litoral del Golfo de México, el camarón es la tercera pesquería en cuanto a volumen (cerca de 11,000 toneladas en el 2001). Sin embar-go, el valor de la producción (cerca de 853.48 millones de pesos en 2001) hace a esta pesquería la más importante del litoral del Golfo y Caribe mexicanos.

En el Golfo de México y el Caribe se capturan principalmente camarón café (*Fafantepenaeus aztecus*), camarón rosado (*F. duorarum*), camarón rojo (*F. basiliensis*), camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) y camarón de roca (*Sicyonia brevirostris*). La explotación se lleva a cabo principalmente en tres zonas:

- Sonda de Campeche en los estados de Campeche y Tabasco (camarones blanco, rosado y café, 22% de la producción).
- Norte del Golfo de México en los estados de Tamaulipas y Veracruz (en su mayor parte camarón café, al menos 70% de la captura del litoral).
- Caribe mexicano en el estado de Quintana Roo (camarón rojo y de roca, al menos 1%, parte de la captura registrada en otras zonas).

Dado que los individuos juveniles se encuentran en zonas lagunares o aguas marinas someras (donde son vulnerables a las pesquerías artesanales, con tallas pequeñas y valor comercial relativamente bajo), y migran al mar

para su reproducción como adultos (capturados por pesquerías industriales, con tallas más grandes y valor comercial más alto), estas pesquerías son un típico ejemplo de pesquerías secuenciales en las que se generan externalidades negativas ya que la captura del sector artesanal afecta la captura del industrial y viceversa.

Aunque ésta es una de las pesquerías más investigadas y una de las primeras en ser reguladas, existen varios factores adversos para lograr la sustentabilidad de la pesquería. El más obvio al parecer está asociado a una sobrepesca por un exceso de esfuerzo de pesca.

La captura en la Sonda de Campeche ha disminuido en cerca de 20,000 toneladas en 1970, la mayor parte se trata de camarón rosado y, en menor proporción camarón blanco. El descenso ha llegado hasta alrededor de 500 toneladas en las últimas temporadas para ambas especies (figuras 7 y 8) (Fernández *et al.* 2000, SEMARNAP 2000). Aunque la captura por unidad de esfuerzo ha disminuido en Contoy, no está claro cuanto de esta tendencia puede atribuirse a las descargas de las capturas de las flotas de Campeche en otras áreas del litoral. En Tamaulipas, después de un crecimiento sostenido de las pesquerías artesanal e industrial desde fines de los setenta, y un aumento de la captura de altamar después de la implantación de la veda en 1993, la captura ha descendido notablemente a partir de 1997 (figura 9).

En este sentido, el remedio lógico sería la aplicación de medidas regulatorias. Aunque en el esquema de administración existen medidas como

FIGURA 7. TENDENCIA DE LAS CAPTURAS TOTALES DE CAMARÓN, EN TAMAULIPAS Y CAMPECHE

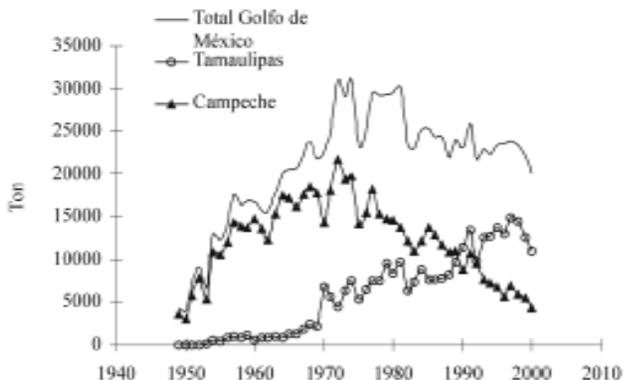
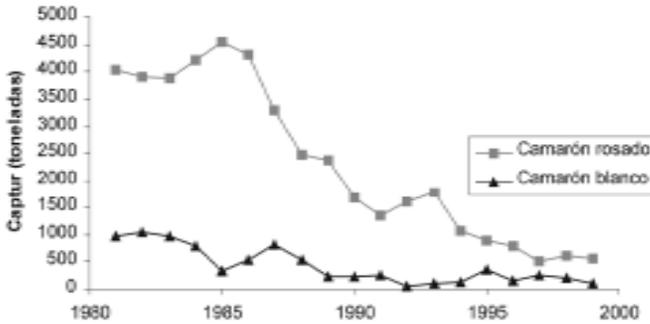
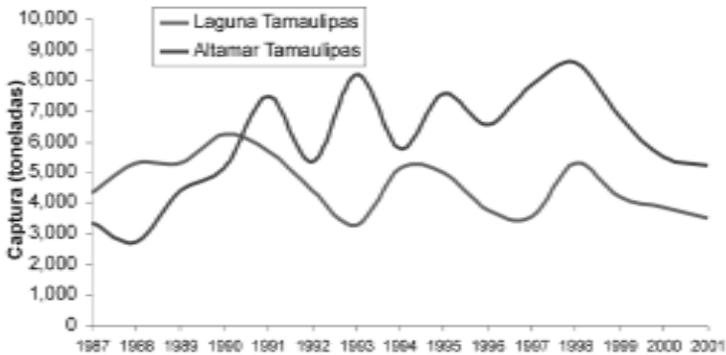


FIGURA 8. TENDENCIA DE LAS CAPTURAS DE LAS DOS ESPECIES PRINCIPALES DE CAMARÓN EXPLOTADAS EN LA SONDA DE CAMPECHE



Fuente: Carta Nacional Pesquera 2000.

FIGURA 9.- TENDENCIA DE LAS CAPTURAS EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE TAMAULIPAS.



restricciones zonales de pesca y definición de las artes de pesca permitidas, la administración del recurso se ha centrado en la reducción de la mortalidad por pesca por medio de vedas. Sin embargo, éstas han tenido problemas en su aplicación por varias causas. Una de ellas es que las vedas se implantaron

desde 1993 (mientras que en el Pacífico esta medida tiene décadas de ser aplicada).

Para cuando se implantó la veda, en la Sonda de Campeche las poblaciones de camarón blanco y rosado estaban ya muy reducidas. Aunque la veda protege los periodos importantes de reproducción y crecimiento de los camarones blanco y rosado, la pesca ilegal en lagunas y aguas someras es aún intensa y la mortalidad por pesca industrial al inicio de temporada llega a niveles comparables a los observados antes de implantarse la veda (INP 2000).

En Tamaulipas y Veracruz, existían pesquerías artesanales en lagunas costeras con altos niveles de producción cuando se estableció la veda (figura 9). En esta zona el énfasis se ha puesto hasta ahora en evitar la sobrepesca de crecimiento, que resulta de la captura de tallas pequeñas, mayormente en aguas lagunares pero también en aguas someras marinas, que resulta en disminución del volumen y valor de la captura (una pérdida de capacidad de producción de corto plazo). Este mismo énfasis se ha puesto en las vedas de camarón café de Texas (Klima *et. al.* 1982, Nichols 1982) que sirvieron de modelo para la medida tomada en Tamaulipas y Veracruz. La veda, como se ha aplicado, protege el periodo de estancia de la cohorte en las lagunas sin proteger ningún periodo de reproducción en altamar, aunque parte de la hipótesis que en la medida que se permita la existencia de un mayor número de reproductores en alta mar, aumentará la probabilidad de garantizar el éxito reproductivo y en consecuencia un mayor reclutamiento subsiguiente.

Por su parte, la veda impuesta en Tamaulipas en el mes de octubre de 2002 protege sólo el evento de reproducción de otoño que, a pesar de ser el periodo con mayor número de individuos reproductores, no es el más importante en términos de reclutamiento resultante. A pesar de las recomendaciones al respecto no se ha protegido el periodo más importante de reproducción (en términos de reclutamiento posterior) a fines del primer trimestre del año.

Además de la protección de los periodos reproductivos, se debe considerar el número de reproductores que llegan a ellos, como resultado de la mortalidad por sobrepesca durante el reclutamiento. Ésta consiste en una reducción de la capacidad de producción a largo plazo del recurso por reducción del número de reproductores. Esta posibilidad ha sido señalada desde hace tiempo para las pesquerías de camarón de los Estados Unidos (Viosca 1958), y también se ha señalado como una causa de la reducción de las poblaciones en la pesquería de Campeche (Gracia 1996, Ramírez *et al.*

2001).

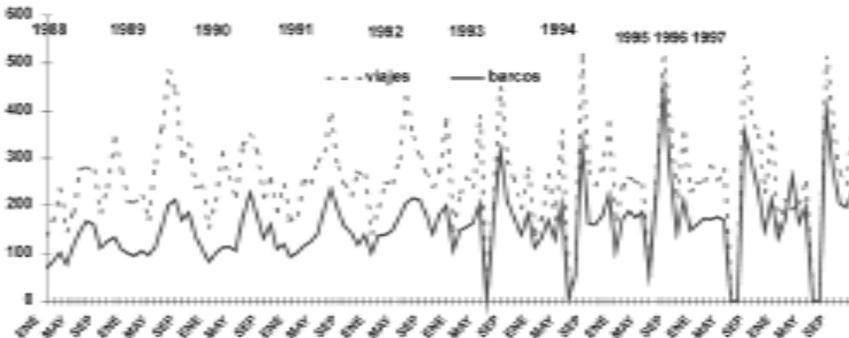
Existen indicios de que éste pudiera ser el caso también en la pesquería de Tamaulipas (INP 2000). El nivel de mortalidad por pesca en la pesquería de altamar en Tamaulipas se encuentra en niveles comparables a los encontrados desde los años setenta en la pesquería de Campeche, el periodo cuando se inició la caída de las capturas (Fernández 2001).

Esto es un resultado del esquema general de administración. El esfuerzo pesquero, no ha sido regulado en la administración de la pesquería (más allá de establecer lineamientos de no aumentarlo). La diferente duración de las vedas en los estados ocasiona un movimiento de las flotas que influye, de manera importante, en el aumento de la mortalidad por pesca en las diferentes áreas. Por ejemplo, dado que la veda de Campeche dura de mayo hasta octubre y la de Tamaulipas termina a mediados de julio, la flota del primer estado se concentra frente a la costa del segundo duplicando el número de barcos que opera en la zona (INP 2000). Este efecto se ha presentado desde 1993, año de la implantación de la veda (figura 10).

Lo mismo puede decirse de la veda en Contoy; aunque la veda se ha establecido para limitar el movimiento de flota a esta zona, ha dejado sin protección al periodo reproductivo y de reclutamiento a las zonas de pesca del camarón rojo, que es la especie más importante económicamente (INP 2000).

Adicionalmente, un factor que ha influido de manera importante en la

FIGURA 10. TENDENCIA DEL NÚMERO DE BARCOS Y VIAJES DE PESCA EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE TAMAULIPAS DE 1989 A 1997



administración del recurso (dado el carácter secuencial mencionado de la pesquería) es la cada vez más intensa competencia por el acceso al recurso entre el sector artesanal y el industrial.

Por ejemplo, las vedas, como se han implementado en las lagunas de Tamaulipas y Veracruz (45-60 días de mayo a julio), restringen la actividad de la pesca artesanal en los meses de mayor abundancia del recurso.

Sin embargo, dado que la veda de altamar se aplica aproximadamente al mismo tiempo (hasta 90 días durante mayo a julio), cuando la cohorte principal del año se encuentra dentro de las lagunas y la captura en el mar es baja, la veda no tiene efectos negativos en la captura de la flota industrial. El principal efecto positivo de la veda en altamar es proteger el crecimiento de los camarones que migran al mar en julio, hasta el inicio de la temporada que ha variado desde mediados de ese mes hasta principios de agosto.

Dado que los camarones no capturados durante la veda en lagunas de mayo a julio se pescarán al inicio de la temporada en altamar en julio-agosto, la veda se ha convertido en un instrumento de repartición (Fernández *et al.* 2000), más que de protección al recurso.

En las presentes circunstancias, los pescadores artesanales de la zona de Tamaulipas y Veracruz tienen pocos incentivos para cumplir con la veda y con el esquema de administración. Las frecuencias de edades en los individuos capturados al inicio de la temporada en altamar a partir de 1997 indican que se ha reducido progresivamente la salida de individuos de la cohorte principal (Ramírez y Fernández 2001), inicialmente protegida por la veda en las lagunas, lo que indica que la veda ha perdido efectividad de manera muy notable en su objetivo principal (figura 11).

La disminución de las capturas totales de los años posteriores a 1997 ha resultado en una disminución de las capturas por barco de la pesquería de altamar (figura 12), y en un aumento del ya alto nivel de competencia y conflictividad por el recurso entre el sector artesanal e industrial, dado que el único instrumento con algún resultado medible a la fecha ha sido la veda en las zonas lagunares.

En este caso, la visión de la política aplicada en un inicio (nivel I del meta-indicador 1), centrada en la repartición del recurso, no consideraba su naturaleza finita. La administración se ha basado en la reducción de la sobrepesca de crecimiento, centrándose en la maximización de las capturas (nivel I del meta indicador 2). No existe definición de los derechos de propiedad, ni reglas de ingreso-egreso (nivel I del meta-indicador 5). La rentabilidad económica tiene una tendencia descendente (nivel I del meta-indicador 6). La legislación

FIGURA 11. VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA POR EDADES EN LAS CAPTURAS DE CAMARÓN CAFÉ DE ALTAMAR EN TAMAULIPAS

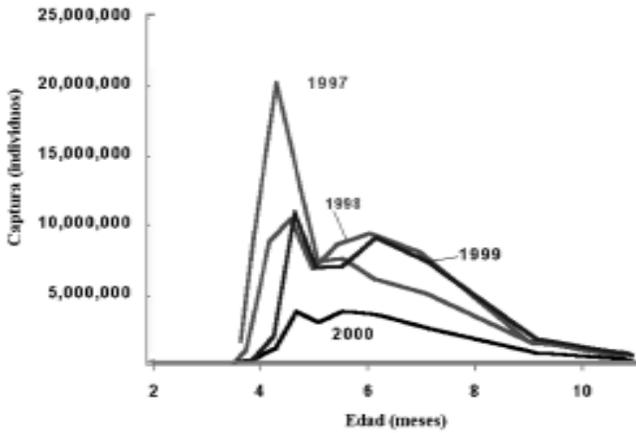
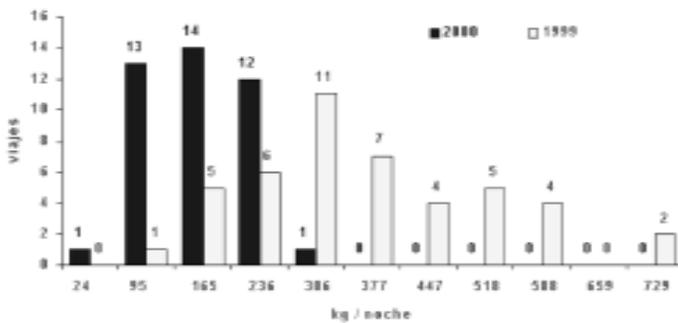


FIGURA 12. VARIACIÓN DE LA CAPTURA POR NOCHE EN 1999 Y 2000 DE CAMARÓN CAFÉ DE ALTAMAR EN TAMAULIPAS.



existe pero falta aplicar entre otros instrumentos, regulaciones de esfuerzo en el sector artesanal e industrial así como mayores restricciones en la tecnología de éste último (nivel I del meta-indicador 3), además de adolecer de fallas en los sistemas de vigilancia (nivel II del meta-indicador 7).

La conflictividad en la pesquería es alta y existen pocos incentivos para cumplir con los arreglos institucionales por parte de los usuarios (nivel I del meta-indicador 8). La capacidad institucional interna se ha reducido, producto de recortes de presupuesto y personal mientras que la externa no ha cambiado (nivel I-II del meta-indicador 9). Por último, se ha prestado poca atención a los factores ambientales más allá de la adopción de dispositivos excluidores de tortugas (nivel II del meta-indicador 4), y puede afirmarse que existe una limitada pero creciente percepción social de la situación de la pesquería (nivel II-III del meta-indicador 10). Puede señalarse que las fallas en la aplicación del arreglo institucional general, a pesar de los beneficios iniciales, ha afectado la sustentabilidad biológica, ha disminuido su aceptabilidad social y ha reducido la rentabilidad económica.

DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS

De los mares mexicanos, el Golfo de México es menos productivo y seguramente más frágil que el Pacífico mexicano. Aporta aproximadamente 21% del total de las capturas que se pescan en ambos litorales. Consecuentemente, en condiciones de saturación de esfuerzo pesquero es de esperarse que estas capturas sean directamente proporcionales a las biomásas existentes y que sus cambios sean proporcionales a los de los recursos.

La captura total y las de los principales recursos pesqueros han disminuido en los últimos siete años en un 20% aproximadamente. Ante esto, sus biomásas también, ya que no es posible maximizar las capturas sin afectar el capital natural. Lo anterior es atribuible en gran parte a la sobre-pesca, ya que paralelamente la cantidad de esfuerzo artesanal ha aumentado significativamente y el industrial a pesar de haber decrecido en número, ha incrementado su eficiencia tecnológica y en consecuencia su poder de captura.

Hay un problema de sobrecapacidad de la flota e ineficiencia económica en las pesquerías del Golfo, producto de políticas miopes comunalistas de promoción de empleo y maximización de las capturas, que hace que en condiciones de productividad industrial promedio, las flotas artesanales e industriales escameras cuenten con una capacidad de pescar entre 9.5 y 19

veces sus capturas actuales y en el caso de la flota industrial camarонера entre 8 y 16 veces.

Se han construido indicadores de salud, instrumentos regulatorios y el primer diagnóstico pesquero-ambiental que comprueban que los recursos pesqueros en el Golfo de México acusan sobreexplotación; 79% de estos no pueden crecer más por estar en niveles de máxima explotación, y de los anteriores, 25% se encuentran en estado de deterioro. Lo anterior *per se* muestra que hay problemas de insustentabilidad en el Golfo de México. A pesar de lo anterior, no hay medidas urgentes que afronten el deterioro, intenten revertirlo, y fortalezcan la institucionalidad y capacidad regulatoria del Estado, debilitada como consecuencia de la liberalización económica y del ajuste estructural; tampoco hay medidas que generen conciencia pública para enfrentar y mitigar sus efectos. Por el contrario, se ha escogido una política reactiva a conflictos y de subsidios que lejos de ser aplicados a enfrentar y resolver el problema tenderá a agravarlo en el tiempo (Senado de la República 2003). Lo anterior se contrapone a principios generalmente aceptados como el precautorio, la Agenda XXI, el Código de Conducta para la Pesca Responsable, la reciente Declaración y el Programa de Implementación de la Cumbre de Johannesburgo de Desarrollo Sustentable e incluso a directivas de organismos económicos de los que México es parte como la OECD.

La tendencia actual de pérdida de recursos marinos en el Golfo de México, cuya costa está habitada por más de 12 millones de personas, sin duda representa un factor de riesgo muy significativo en cuanto a seguridad alimentaria. Los efectos más agudos de dicha situación podrían observarse en el corto plazo en la región de la Sonda de Campeche, por las actividades de extracción petrolera y el crecimiento en número de artes de pesca en dicha región.

Desgraciadamente, a pesar de la existencia de indicadores y regulaciones basados en la Carta Nacional Pesquera 2000, el manejo del sector pesquero muestra una fuerte tendencia a relajar los indicadores ya existentes y a desarrollarse bajo políticas más laxas, lo cual tendrá efectos negativos sobre los recursos marinos y pesqueros.

Considerando la ausencia de acciones para frenar y revertir el deterioro causado por la pesca, es deseable que se fortalezcan y sumen nuevos indicadores de sustentabilidad, se introduzcan políticas anticipatorias precautorias y se busque que este sector no se aleje más de este paradigma. En estas condiciones, vale la pena reflexionar también sobre el papel que las

instituciones ambientales nacionales deben jugar para lograr confrontar dicha situación y frenar la pérdida de tan valioso capital natural en el Golfo de México.

En este trabajo se presenta una propuesta de indicadores, del proceso para transitar hacia la sustentabilidad en la pesca, y cómo cuantificar el grado de avance hacia ese estadio deseado en el Golfo de México. Dicha propuesta cuyos méritos tendrán que ser probados en la práctica reconoce la sustentabilidad como un objetivo complejo, multifactorial, multiescalar, multisectorial, multiinstitucional, y se presenta como un elemento de apoyo para el diseño e implementación de políticas públicas, tanto para revertir el deterioro como para identificar las áreas a mejorar situando así la actividad en el camino hacia la sustentabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Torres, P. A. Díaz-de-León-Corral, O. Ramírez-Flores y E. Bermúdez-Rodríguez. 2002. National Fisheries Chart: a new instrument for fisheries management in inland waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 317-326.
- Arenas, P. y A. J. Díaz-de-León 1998. Searching for fisheries sustainability in a developing country: The case of México. *Proceedings of the Second World Fisheries Congress*. Australia.
- Arreguín, F., Sanchez, J., Flores, H.D., Ramos, M.J., Sanchez, G.P. y Arancibia, A.Y. 1999. Stock-Recruitment Relationships: A scientific Challenge to Support Fisheries Management in the Campeche Bank, Mexico. En Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. 225-235.
- Cabadas-Nápoles, C, 2002. El caos de la industria pesquera. *Economía Nacional* 258: 28- 35.
- Christiansen, V., S. Guenette, J. J. Heymans, C. J. Walters, R. Watson, D. Zeller y D. Pauly 2003. Hundred-year decline of North Atlantic predatory fishes. *Fish and fisheries* 4, 1-24.
- Chuengpagdee, R. y J. Alder 2002. Sustainability ranking of North Atlantic Fisheries. *Sea Around Us. North Atlantic*. 49-54.
- Dayton, PK, SF Thrush, MT Agardy y RJ Norman 1995. Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5: 205- 232.
- Díaz-de-León, A., M. A. Cisneros, P. Alvarez- Torres, A. Sanchez-Palafox y O. Ramírez-Flores. En prensa. *La Carta Nacional Pesquera 2000. Nuevo Instrumento Regulatorio en México*.
- Díaz y Díaz, Martín 2001. El aprovechamiento de los recursos naturales. Hacia un

- nuevo discurso patrimonial. *Revista de Investigaciones Jurídicas* Vol. 24. Escuela Libre de Derecho. México. Reeditado en diciembre del 2001 por el Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. (CeIBA).
- Duda, A. M. y K. Sherman 2002. A new imperative for improving management of Large Marine Ecosystems. *Coastal and Ocean Management* (45): 797-833.
- FAO 2000. Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca de captura marina. *FAO Orientaciones técnicas para la pesca responsable* No.8, Roma, FAO 2000. 68p.
- Fernández, J. I. 20001 Administración de la pesquería de camarón en el Golfo de México. ¿un esquema completo? Segundo Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. Ciudad del Carmen, Marzo 2001.
- Fernández, J.I, L. Schultz, A.T. Wakida, M. Medellín, M.E. Sandoval, G. Nuñez, J.A. Uribe, R.G. Castro, A. González, M. E. González, J. Santos, G. Marcet, F. Aguilar, B. Delgado, G. Chale 2000. Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. En: *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo, 1999-2000*. Instituto Nacional de Pesca. México.
- García, S. y I. De Leiva Moreno 2001. Global Overview of marine fisheries. Paper presented at the *FAO-Iceland Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. Reykjavik, Islandia. 1-14 de octubre de 2001. 22 pp.
- Gell, F. y C. M. Roberts. En prensa. Benefits beyond boundaries: The fishery effects of marine reserves. *Trends in Ecology and Evolution*.
- Goñi, R, 1998. Ecosystem effects of marine fisheries: An overview. *Ocean and Coastal Management* 40: 37- 64.
- Gracia, A. 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. *Mar. Freshwater Res.* 47:59-65.
- Hernández, A y W. Kempton 2003. Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public participation. *Ocean and Coastal Management* 46: 507- 526.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC.
- Hilborn, R y C Walters 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Chapman and Hall, London.
- INEGI 2000. *Tabulados Básicos Nacionales*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INE-INEGI 2000. *Sustainable development Indicators*. SEMARNAP. 173 pp.
- INP 1998. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo, 1997-1998*. Instituto Nacional de la Pesca. México. SEMARNAP. México.
- INP 2000. Fundamento Técnico para el establecimiento de vedas en el Golfo de México en 2000. Instituto Nacional de la Pesca. Programa Camarón del Golfo de México y Caribe. Dictamen técnico (inédito).
- 2001. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo, 1999-*

2000. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. México.
- Jackson, Jeremy B. C, Michael X. Kirby, Wolfgang H. Berger, Karen A. Bjorndal, Louis W. Botsford, Bruce J. Bourque, Roger H. Bradbury, Richard Cooke, Jon Erlandson, James A. Estes, O. Terence P. Hughes, Susan Kidwell, Carina B. Lange, Hunter S. Lenihan, John M. Pandolfi, Charles H. Peterson, Robert S. Steneck, Mia J. Tegner, Robert R. Warner 2001. Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science* 293: 629-638.
- Klima E.F., K.N. Baxter y F.J. Patella Jr. 1982. A review of the offshore shrimp fishery and the 1981 Texas closure. *Mar. Fish. Rev.* 44 (9-10):16-30.
- Le Gallic, B. 2002. Fishery Sustainability indicators: the OECD experience. Joint workshop EEA-EC Fisheries DG Environment on "Tools for measuring (integrated) fisheries policy aiming at sustainable ecosystem". October 28-29, 2002. Brussels, Belgium.
- León, C y J. V. Gómez-Palafox. En prensa. Osteoporosis del sector pesquero. Los mares mexicanos en conflicto. *Revista de Comercio Exterior*. México.
- Ludwig, D, R Hilborn y C. Walters 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. *Science* 260: 17- 18.
- Myers, R. A. y B. Worm 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423: 280-283.
- Nadal-Egea, A. 1996. *Esfuerzo y Captura: Tecnología y Sobreexplotación de Recursos Marinos Vivos*. El Colegio de México, México-DF.
- Nichols, S. 1982. Impacts on Shrimp yields of th 1981 Fishery Conservation Zone Closure off Texas. *Mar. Fish. Rev.* 44 (9-10):31-37.
- Pauly, D, V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese, y F.Torres Jr. 1998. Fishing Down Marine ood Webs. *Science* 279: 860-863.
- Pauly, D, V Christensen, S Guénette, TJ Pitcher, U Rashid-Sumaila, CJ Walters, R Watson y D. Zeller 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418: 689- 695.
- Ramírez, G. y J.I. Fernández 2001. Análisis de la veda aplicada a la pesquería de camarón café, *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891), en Tamaulipas. *Segundo Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe*. Ciudad del Carmen, Marzo 2001.
- Ramírez, M. F. Arreguín-Sánchez, D. Lluch-Belda y E. Chávez-Ortiz 2001 Tendencias del reclutamiento de camarón rosado en la sonda de Campeche y el colapso de su pesquería. Segundo Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto Nacional de la Pesca. México.
- Rosenberg, A. A. 2003. Managing to the margins: the overexploitation of fisheries. *Front.Ecol.Environ* 1(2): 102-106. The Ecological Society of America.
- Rosenberg, A. A. (2003a). Multiple use of marine ecosystems. En: Sinclair, M. y G. Valdimarrson (eds). *Responsible fisheries in the marine ecosystem*. Roma, CAB Intn.
- Sala, E, O Aburto-Oropeza, M Reza, G Paredes y LG López-Lemus 2003. Fishing Down

- the Coastal Food Webs of the Gulf of California. *Fisheries* 28.
- SAGARPA 2002. *Anuario Estadístico de Pesca 2001*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. CONAPESCA, México.
- Sainsbury, K. y U. R. Sumaila (2003). Incorporating Ecosystem Objectives into Management of Sustainable Marine Fisheries, Including "Best Practice" reference Points and Use of Marine Protected Areas. En: Sinclair, M. y G. Valdimarsson (eds) *Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. FAO. Rome: *CAB International*.
- SEMARNAP 2000. Carta Nacional Pesquera 2000. *Diario Oficial de la Federación*, 17 y 28 de agosto, 2000.
- Schiermeier, Q, 2002. How many more fish in the sea? *Nature* 419: 662- 665.
- Senado de la República 2003. Comparecencia del Secretario de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Sr. Javier Usabiaga. Glosa del 3r Informe Presidencial. Transcripción estenográfica de la sesión de trabajo de la Comisión de Pesca de la Cámara de Diputados, 25 de septiembre 2003.
- Shipp, R.L. 1999. Status of Exploited Fish Species in the Gulf of Mexico. En Kumpf, H., Steidinger, K. y Sherman K. (eds). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. 196-204.
- Viosca J. P. 1958. Shrimp studies. En *Seventh Biennial Report of the Louisiana Wildlife and Fisheries Commission*. 1956-1957. 135-42. New Orleans. Louisiana Wildlife and Fisheries Commission.

LA PESCA EN EL GOLFO DE MÉXICO. HACIA MAYORES BIOMASAS EN EXPLOTACIÓN

Virgilio Arenas Fuentes y Lourdes Jiménez Badillo

INTRODUCCIÓN

La forma, magnitud y descontrol de la actividad pesquera a nivel mundial plantea para la ecología planetaria un tema de atención inaplazable. El valor ecológico y los servicios ambientales en riesgo deben revisarse. La sobreinversión, el esfuerzo de pesca excesivo, la sobrepesca biológica, la regulación inoperante, etc., se suman a la destrucción de los ecosistemas costeros, a la contaminación multifocal y a la pesca hormiga ribereña. Según datos recientes (Myers y Worm 2003), los stocks de las especies de peces de altos niveles tróficos se encuentran disminuidas en más de 90%; la explotación representa más de 30% de la producción total marina. La zona costera carece de mecanismos efectivos de protección.

El Golfo de México no escapa a esta situación. La pesca se realiza en todos los ámbitos y ecosistemas, prácticamente sin una regulación adecuada. El valor de la estructura de las poblaciones que habitan las lagunas costeras es evidente, así como su conectividad con otros ecosistemas. El enfoque de manejo integral de la zona costera, incluyendo a la zona nerítica como frontera hacia el mar y la cuenca hidrológica hacia la costa, constituye una alternativa para abordar la problemática. El objetivo debe orientarse a romper el círculo vicioso donde la demanda global, en aumento constante, reduce las biomاسas y por lo tanto aumenta los precios, que en consecuencia

aumentan el esfuerzo. En este sentido, el objetivo debe recobrar las biomásas perdidas por la sobrepesca y la destrucción del hábitat, en beneficio de restaurar las funciones de los ecosistemas alterados y de obtener mejores rendimientos económicos. Existe en la actualidad suficiente desarrollo tecnológico para prever que esto sea factible sin una alta inversión para lo cual se requiere subordinar formalmente el ordenamiento y el manejo pesquero al manejo integral de la zona costera. Es importante en el Golfo de México hacer de la pesca una actividad de calidad y no de cantidad.

PANORAMA MUNDIAL DE LA PESCA

La literatura científica de mayor trascendencia en materia de pesca, se ha ocupado en los últimos años en señalar la difícil situación que enfrentan los ecosistemas marinos debido a la actividad pesquera. El proceso de detección, captura, transformación e industrialización pesquera, ha alcanzado un desarrollo tecnológico de frontera, que se emplea en todas las regiones del mundo donde existe una pesca industrial importante, generando un impacto relevante sobre los ecosistemas marinos. La pesca artesanal o de sobrevivencia que ocupa las facilidades tecnológicas que ofrece el ingenio humano, es descontrolada e impacta a una gran variedad de especies. La maricultura avanza sin reconocer cabalmente el riesgo existente del descuido ecológico. Myers y Worm (2003) señalan que la pesca industrial redujo la biomasa de las poblaciones de peces en un 80% en 15 años de explotación y estiman que actualmente la biomasa de peces predadores es sólo 10% de los niveles pre-industriales. Esto refuerza los estimados de Jackson (2001) sobre el colapso de los ecosistemas costeros por sobrepesca y el señalamiento de Weiss (2003) acerca de que 90% de las poblaciones de especies oceánicas del mundo incluyendo: bacalao, halibut, atún, pez espada y marlín han desaparecido en décadas recientes.

Lo anterior no es aún problema económico para las grandes industrias que han venido adaptándose, capturando también hasta el agotamiento a aquellas especies que ven aumentadas sus poblaciones en ausencia de los grandes depredadores; ocupando bancos más profundos y distantes que se agotaron el siglo pasado; donde los países, compensan mediante políticas de subsidio que tienen a la inversión en pesca en sobrecapitalización por más de 50,000 millones de dólares. La economía mundial tiene un excedente de esfuerzo pesquero de más del 50% que desde el punto de vista del recurso se traduce en una exacerbación de la búsqueda, la ampliación de especies

objetivo y la competencia con la pesca de subsistencia. No se prevén colapsos económicos mundiales, se prevén una serie de colapsos ecológicos.

Los ecosistemas marinos contribuyen con más del 50% de la productividad planetaria (Field *et al.* 1998) en los que los principales stocks están en franca sobreexplotación o han sido ya colapsadas sus poblaciones. La biomasa capturada por la pesca mundial promedia anualmente más del 30% de la biomasa capturable en todos los océanos y mares del mundo.

Las poblaciones residuales oscilan entre el 5 y el 24% de las poblaciones vírgenes. Los datos históricos revelan que para los ambientes costeros, tanto la pérdida de los grandes peces depredadores, como de mamíferos, fue muy pronunciada (16% por año), precipitando cambios en la estructura y función de los ecosistemas (Jackson 2001). Los datos mundiales de la FAO indican distorsión en la información y una tendencia a la disminución global de las capturas en ausencia del control del esfuerzo. Watson y Pauly (2001) analizando los datos de captura de la FAO concluyen que la pesca ha ido disminuyendo gradualmente el nivel trófico de la captura.

Desde el punto de vista de la explotación, independientemente del efecto ecológico, la situación debe revertirse para alcanzar mejores rendimientos económicos alcanzando con ello mayores biomásas en explotación.

Lo anterior tiene una importancia superlativa para las decisiones de manejo y control de explotación de los recursos. Existen claras evidencias de que los ecosistemas costeros operan con controles "top-down" en los cuales las consecuencias ecológicas se aumentan exponencialmente (Worm y Mayers, 2003). La repercusión de la pesca sobre los ecosistemas es preocupante por su extensión a nivel mundial, por el nivel de reducción de las poblaciones y la consecuente dificultad para revertir ésta situación. Otro problema es la extinción de poblaciones, particularmente aquéllas que maduran a edades avanzadas. Las extinciones locales han pasado desapercibidas incluso en ecosistemas sobre los que se ha ejercido un cuidadoso seguimiento (Casey y Myers 1998).

La pesca es ya un problema ecológico mundial insoslayable. La reunión de Medio Ambiente de las Naciones Unidas celebrada en 2002, en sus resolutivos estableció la necesidad de recuperar los stocks pesqueros a un nivel más conveniente.

LA PESCA EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU CONTEXTO NACIONAL

La situación de la pesca en México no es distinta de lo que acontece a nivel mundial. La sobreexplotación, sobreinversión, esfuerzo de pesca excesivo,

la regulación carente o inoperante y la contaminación, son los factores comunes que contribuyen a la degradación de los ecosistemas costeros.

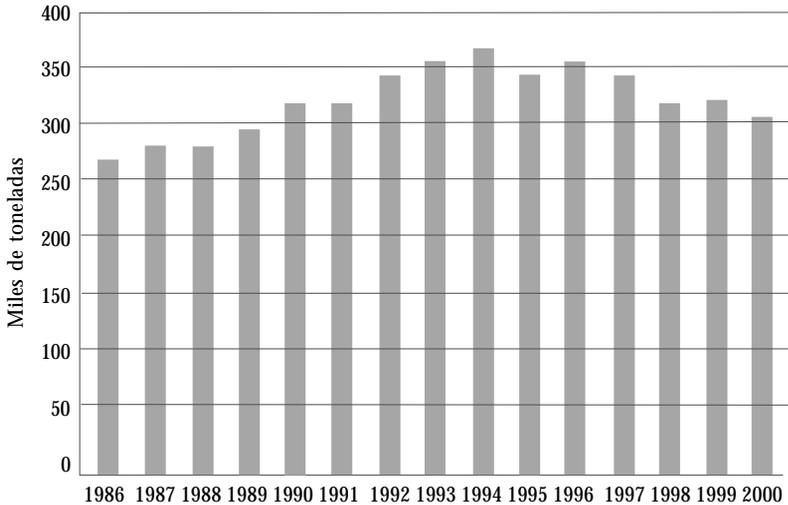
Los desembarques pesqueros anuales se han estabilizado en alrededor de 1.3 millones de toneladas en peso vivo en los últimos 20 años, pese a la creciente producción acuícola y la inclusión de especies antes descartadas. La producción total en 2001 fue de 1,325,785 toneladas, lo cual representó un ingreso de \$ 12,885 millones de pesos a precios de playa (Anuario Estadístico de Pesca 2001). La aportación de la actividad pesquera al Producto Interno Bruto es apenas del 1.7, ubicándose muy por debajo de la industria petroquímica y sus derivados, y del turismo que son las actividades que aportan mayores divisas al país. De hecho desde el punto de vista estrictamente económico la suspensión de la actividad pesquera en el Golfo de México no afectaría los procesos económicos nacionales.

Las condiciones biogeográficas y régimen climático que predominan en el Golfo de México, determinan que la gran mayoría de los recursos pesqueros ahí existentes tengan el carácter de multiespecíficos, a diferencia de las principales pesquerías que se desarrollan en el océano Pacífico que tienden a ser monoespecíficas.

En la Carta Nacional Pesquera (2000), se estima la existencia de 551 especies capturadas en aguas marinas, de las cuáles 287 corresponden al Pacífico y 264 al Golfo de México y Mar Caribe. Pese a que las cifras son similares, éste último contribuye sólo con el 23% del volumen de pesca a nivel nacional, esto es, 298,818 ton mientras que el Pacífico aporta el 74% y los cuerpos de aguas continentales el 3%.

Las principales pesquerías que se desarrollan en el Golfo de México y Mar Caribe en territorio nacional son: camarón, tiburón, atún, mero, pulpo, langosta, caracol rosado y escama. Los datos oficiales de la captura en el Golfo de México de 1986 a 2001, presentan un promedio de 300,000 toneladas y muestran un claro incremento a mediados del decenio anterior y un descenso posterior que no alcanza los valores más bajos registrados en 1987 (figura 1). Es improbable que estos registros reflejen la abundancia del recurso y la eficiencia de las capturas; es más probable que las estadísticas reflejen la intención del gobierno de invitar a la iniciativa privada a invertir en la pesca. En México, al igual que en el resto del océano mundial el incremento de la eficiencia pesquera mediante mejores artes de captura y detección no se reflejó en un aumento real de las capturas, lo cual implica que afectó a más especies, en más áreas y con mayor intensidad.

FIGURA 1. PRODUCCIÓN PESQUERA TOTAL POR AÑO PARA EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE



El estado de Veracruz es el principal productor pesquero en la región aportando el 40% del volumen de captura. A nivel nacional, el estado de Veracruz ocupa el 5º lugar en producción ubicándose por debajo de Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur con un volumen de 119,304 ton, de las cuales el 98% proviene de la pesca artesanal, que es de bajo valor económico.

ESTATUS ACTUAL DE LA PESCA EN LA PARTE MEXICANA

La pesquería de camarón, que es de las más importantes en la región del Golfo y Mar Caribe, se efectúa principalmente en Tamaulipas y el norte de Veracruz donde se obtiene camarón café; en la Sonda de Campeche se captura camarón rosado, blanco y siete barbas; y en el Mar Caribe se obtiene camarón rojo y de roca. Las capturas se han mantenido alrededor de las 20,000 toneladas en los últimos años. Las tres zonas están aprovechadas al máximo permisible y ya no soportan más esfuerzo pesquero ribereño ni industrial. Los 770 barcos camaroneros que operan en altamar y el esfuerzo

que se ejerce en lagunas costeras no pueden ser incrementados. La población de camarón café se encuentra en buen estado y es la que ha sostenido la pesquería en los últimos años. Sin embargo, las poblaciones de camarón blanco y especialmente de camarón rosado, se encuentran sumamente deterioradas, en niveles de biomasa muy por debajo de su máxima productividad (Arenas y Díaz de León 1999).

En 1997 la producción de tiburón y cazón en el Golfo de México fue de 5,780 toneladas; de esta región ha provenido el 35% de la producción nacional. La pesca artesanal de tiburones representa valiosas fuentes de alimento y empleo para las comunidades ribereñas del Golfo de México. Los principales estados productores de tiburón son Veracruz y Campeche. El número de permisos para la pesca comercial de tiburones en la región es de 400, con los que operan 3,600 embarcaciones. Esta pesquería captura 33 especies de tiburones, de las cuales 10 proporcionan el 90% de las capturas artesanales. La pesquería del cazón ley *Rhizoprionodon terraenovae* se encuentra aprovechada al máximo permisible y en riesgo de disminuir drásticamente si se continúa el mismo esquema de explotación, en el que predomina, en 90% la captura de organismos inmaduros (Arenas y Díaz de León 1999).

La única pesquería oceánica en el Golfo de México que se realiza en la zona económica exclusiva, es la de atún aleta amarilla, que se captura con 20 barcos palangreros, generando alrededor de 1,096 toneladas. Esta pesquería tiene potencial de desarrollo y puede crecer hasta 45 barcos para aprovechar el recurso de manera sustentable, de acuerdo con la NOM-023-PESC-1996 (Arenas y Díaz de León 1999).

La población de mero que se encuentra en la Sonda de Campeche es la más grande del mundo y es explotada principalmente por tres flotas: una menor que consta de 3,440 pangas, y dos mayores, la mexicana con 539 barcos y la cubana con 16 embarcaciones de mediana altura que sirven de nodrizas para lanchas pequeñas. Las capturas en los últimos 10 años han fluctuado entre 8 y 14 mil toneladas. Esta pesquería se encuentra en deterioro por lo que se requiere disminuir la tasa de aprovechamiento en 40% (Arenas y Díaz de León 1999).

Las especies de pulpo *Octopus maya* y *Octopus vulgaris* que son capturadas en Yucatán por alrededor de 1,900 pangas y 500 embarcaciones medianas que sirven de nodriza a 10 canoas de madera, han registrado capturas de 17,776 toneladas en 1997. Esta pesquería está aprovechada al máximo permisible y se requiere mantener niveles de captura sostenible de 10 a 12 mil toneladas (Arenas y Díaz de León 1999).

La pesquería de langosta espinosa del caribe se lleva a cabo en las costas de Yucatán y Quintana Roo por medio de buceo autónomo, y aunque es de tipo artesanal resulta muy redituable porque su producción tiene un alto precio en playa (26 dólares/kg en 1997). En este año las capturas alcanzaron las 844 toneladas. Alrededor de 400 pangas y 14 barcos se dedican a esta pesca en ambos estados, y se considera que ésta pesquería está aprovechada al máximo permisible en ambos estados aunque existe una fracción del stock que tiene posibilidades de desarrollo en el Banco de Campeche (Arenas y Díaz de León 1999).

El caracol rosado es un recurso de gran tradición en la región del Caribe mexicano, principalmente en Quintana Roo, pero su deterioro ha sido tal, que ahora sólo se pesca en el Banco Chinchorro y en isla Cozumel. Setenta embarcaciones y 140 pescadores constituyen el esfuerzo para esta pesquería cuyas capturas han tenido una tendencia descendente desde hace 10 años. Desde principios de la década de los 90 se han capturado alrededor de 57 toneladas anuales pero el nivel de biomasa de por lo menos 470 toneladas establecido como punto de referencia para la recuperación del stock, requiere el establecimiento de una veda total de dos años (Arenas y Díaz de León 1999).

Una evaluación realizada por Arenas y Díaz de León (1999) sobre 18 pesquerías que comprenden 109 especies que habitan el Pacífico y el Golfo de México, representando el 65% del volumen de producción nacional y el 67% del valor de las capturas nacionales, indica que las pesquerías en nuestro país no han llegado en general a un estado crítico; sin embargo, el exceso de capacidad ha conducido a algunas de ellas a un estado de deterioro que requiere estrategias de recuperación. Tal es el caso de la anchoveta de la costa occidental de la península de Baja California, el abulón, el erizo de mar, el pepino de mar, también de Baja California, el caracol rosado de Quintana Roo y el mero de la Sonda de Campeche.

Otras pesquerías han llegado a obtener capturas estables pero con un nivel de esfuerzo pesquero que de aumentar, pondría en riesgo a las poblaciones y a la actividad misma, como es el caso del camarón y tiburón tanto del Pacífico como del Golfo, el pulpo de Yucatán y la langosta del Caribe, que son catalogadas como pesquerías aprovechadas al máximo permisible.

Por otra parte, las pesquerías que tienen potencial de desarrollo son el atún del Pacífico y del Golfo, la sardina monterrey del Golfo de California y costa occidental de la península de Baja California, el calamar gigante del Golfo de California y la langosta de Baja California.

Con la información existente se puede estimar que en el Golfo de México y Mar Caribe, 86% de las pesquerías no pueden crecer más ya que se encuentran deterioradas o aprovechadas al máximo y la capacidad de renovación del recurso no lo permite (INP 1999).

Desde los años 50 la pesca artesanal e industrial han coexistido, evolucionando en una aparente libre competencia, bajo supuestos de políticas de desarrollo. En el pasado, cuando se dio un vigoroso impulso a nivel mundial a la pesca industrial, se pretendía que esta actividad impulsaría por igual el crecimiento de todas las pesquerías, e incluso se llegó a considerar a la pesca ribereña como una fase transitoria hacia la pesca de gran escala (Breton 2002). Evidentemente la inversión que requiere la pesca industrial es muy elevada comparada con la que requiere la pesca artesanal, quizá por ello el panorama que hoy se presenta dista mucho de esa utopía. Desgraciadamente en México la pesca industrial no prosperó acorde a los apoyos recibidos, quizá por decisiones poco planeadas y malos manejos y que actualmente la pesca ribereña de baja ganancia económica sigue predominando en el país. Además existen fuertes conflictos entre las flotas artesanal e industrial que explotan un mismo recurso y que no permiten un mayor desarrollo, tal es el caso de la pesquería de camarón que se realiza en alta mar y en la zona costera.

La pesca artesanal está caracterizada por la captura de recursos poco densos y muy diversos, realizada por pescadores cuyo nivel de ingresos, mecanización, cantidad de producto, radio de pesca, influencia política, posibilidad de mercado, empleo, movilidad social y dependencia financiera, los mantiene subordinados a las decisiones económicas y operaciones impuestas por parte de aquéllos que compran su producción.

Aunada a la gran diversidad de especies de peces que se capturan en el litoral del Golfo de México y Mar Caribe, se presenta la complejidad del uso de diferentes tipos de embarcaciones y artes de pesca para la captura de éstos. Para la pesca de escama en el Golfo de México y Mar Caribe se emplean 890 embarcaciones mayores y 15,902 embarcaciones menores. Entendiendo por embarcaciones mayores aquéllas superiores a 10 toneladas de registro bruto, con redes de enmalle o líneas de mano o palangre y hasta 10 pescadores, y embarcación menor a aquellas con motor fuera de borda y hasta cuatro pescadores, utilizando red de enmalle, atarraya, chinchorro playero, líneas de mano o palangre (Carta Nacional Pesquera 2000). En el estado de Veracruz se registran 15,681 embarcaciones tanto para la pesca de altura como para la pesca ribereña, correspondiendo a ésta última el 99%

de las embarcaciones. En la pesca artesanal se utiliza una gran diversidad de artes de pesca como son: las redes de enmalle, líneas de mano, palangres, trampas, calas, entre otras; éstas varían en sus materiales de construcción, dimensiones y sistemas de operación según sea el recurso objeto de la pesca. Las artes y equipos de pesca registrados para Veracruz, ascienden a 23,073 redes, 10,915 líneas, 215,423 trampas y 5,761 equipos de buceo (INEGI 1999).

ESTATUS ACTUAL DE LA PESCA EN LA PARTE NORTEAMERICANA

Estudios específicos sobre algunos de los recursos compartidos por México y Estados Unidos de América permiten vislumbrar que el factor común continua. Según Shipp (1999), con base en un índice de potencial de desove que permite evaluar la capacidad que tiene la población para recuperar la parte de la población que se pierde por efecto de la pesca, señala que peces asociados a los arrecifes como el mero, el negrilla, el huachinango y el medregal tienen un potencial de desove que se encuentra en el límite del umbral para ser considerados sobrepescados. El negrilla madura a los 70 cm, sin embargo la talla mínima legal de captura es de 50 cm, lo cual significa que no se le permite reproducirse antes de ser capturado, con lo que no se garantiza que haya una población que recupere a los organismos que son pescados. Por si esto fuera poco, existe una tendencia al predominio de machos sobre hembras, al parecer por la dominancia agresiva de los machos, lo cuál además limita las posibilidades de reproducción.

El cazón también constituye algunas veces el descarte de los arrastres de camarón, en este caso según Shipp (1999), la población parece estar estable y no necesitar regulación alguna (NMFS 1997). El medregal es una de las especies que presentan confusión en cuanto a su identidad con al menos dos de sus congéneres, por lo que existe incertidumbre en cuanto a la historia de su vida.

La trucha marina manchada ha sufrido fuerte impacto al ser pescada tanto en aguas abiertas como internas en sus diferentes estadios de vida, utilizando diferentes artes de pescar como anzuelo, redes agalleras y redes de arrastre, lo cual dificulta su recuperación. No obstante, el gobierno ha planteado la meta de permitir un 30% de escape de los reclutas que se encuentran en las áreas de crianza estuarinas, para que logren llegar a las áreas de desove en mar abierto.

De acuerdo con Shipp (1999), la pesquería de sierra en 1997 parecía estar en un estado saludable; sin embargo a la fecha no se tiene información sobre

su estatus. Por el contrario la pesquería de atún aleta azul, cuya importancia para el Golfo de México es significativa, se encuentra en un estado severamente sobrepescado. La captura del atún aleta amarilla se incrementó en 1984, y hasta 1996 había permanecido en niveles altos (NOAA 1996).

En 1999, Shipp reportaba a *Mycteroperca microlepis* como la especie más sobrepescada del Golfo de México y lo atribuía a la alta mortalidad de organismos menores de un año de edad, provocada por los arrastres en los que se tiene como objetivo capturar camarón. Esta situación es difícil de controlar puesto que estos organismos pequeños habitan en el fondo junto con los camarones y no es sino hasta que alcanzan tallas de 15 a 20 cm, cuando se mueven hacia habitats arrecifales.

Casi todos los *stocks* de meros y chernas en el Golfo de México están en riesgo de colapso. En 1997 dos especies de mero (*Epinephelus negritus* y *Epinephelus drummondhayi*) fueron adicionados a la lista de especies en peligro por la National Marine Fisheries Service Office of Protected Resources. En el año 2000, 11 de las 15 especies de mero y chernas manejadas en el Golfo, fueron identificadas como vulnerables o en riesgo de extinción por la American Fisheries Society. Así mismo, el National Marine Fisheries Service en Miami, Florida, ha identificado a *Epinephelus morio* y *Epinephelus striatus* como sobrepescadas.

CAUSANTES DE LA PROBLEMÁTICA PESQUERA

El continuo incremento de la población humana y la necesidad de cubrir las demandas de tipo alimentario, de vivienda, económicas, recreativas y de educación, genera una serie de impactos que se traducen en la alteración del ambiente, cuyo efecto negativo para los recursos pesqueros es más notable en la zona costera, que constituye las áreas de crianza, reproducción y refugio de éstos recursos.

La zona costera recibe las descargas de aguas negras de los municipios ribereños y la parte alta de las cuencas a través de los ríos, conteniendo exceso de materia orgánica, coliformes, detergentes, cloro, desechos agroquímicos, industriales, etc., lo cual altera los ciclos biogeoquímicos indispensables para el desarrollo de la vida acuática.

En esta zona también se dejan sentir los efectos provocados por la deforestación que se produce tanto en áreas aledañas como cuenca arriba. La erosión de suelos que ésto provoca, incrementa la turbidez del agua y modifica los procesos de transporte y sedimentación, llegando en ocasiones

a bloquear las bocas de esteros que son el paso hacia el mar de diversos organismos que requieren condiciones marinas para completar su ciclo de vida, tales como el camarón. La disminución en la precipitación pluvial, que es otra consecuencia de la deforestación, altera los flujos de agua dulce hacia el mar, modificando las condiciones de salinidad requeridas para el desarrollo de diversas especies.

En la zona costera, la tala de manglar también produce una disminución de las áreas propicias para el desarrollo de los primeros estadios de vida de los peces.

La instalación de plataformas petroleras y termoeléctricas, así como las actividades inherentes al desarrollo del turismo, constituyen también fuentes de alteración o pérdida del hábitat marino.

La actividad marítima en los puertos, el dragado, los derrames de combustibles y aceites, y la introducción de flora y fauna exóticas a través de las aguas de sentinas, se agregan a la larga lista de impactos antropogénicos.

Con todos estos impactos, además de los eventos naturales entre los que destacan: mareas rojas, huracanes, tormentas tropicales, nortes, suradas, niños, surgencias, etc., los recursos pesqueros requieren continuamente adecuar sus poblaciones, lo que se traduce en un descenso notable en las capturas.

Conforme se incrementa el desarrollo tecnológico en lo que a equipos y artes de pesca se refiere, la accesibilidad a los recursos pesqueros incrementa, pero no así la disponibilidad de los mismos por las razones arriba señaladas, esto conlleva a un notable incremento en el esfuerzo invertido, para obtener a cambio una mínima ganancia económica, dirigiendo en ocasiones más esfuerzo hacia unos cuantos recursos.

Aún más, la extracción de los recursos pesqueros está sometida a las relaciones oferta-demanda que determina el consumidor, y en múltiples ocasiones éstas se dirigen hacia los estadios de vida huevo, cría o juvenil de los recursos, (huevo de lisa o naca, cría de charal, juvenil de camarón, etc).

Evidentemente, es urgente asumir las responsabilidades de la actividad pesquera y su impacto en consecuencia hacia otros componentes del ecosistema.

En el Golfo de México la actividad pesquera refleja el problema de pobreza y demografía. Las familias depauperadas migran hacia las áreas costeras en busca de satisfactores. De inmediato la pesca local sufre el "Efecto de los Comunes" o efecto del "bien común" donde más demandantes obtienen cada vez menos hasta llegan al agotamiento. En la última década el crecimiento poblacional de la costa ha sido de más del doble del crecimiento

demográfico nacional. En esto, el país parece repetir un proceso de migración hacia la costa como producto de búsqueda de actividades recreacionales y turismo que exacerban el problema de demanda de productos del mar. Sin embargo, esta última situación debe verse como una alternativa de desarrollo a través del fomento de la maricultura.

MARCO CONCEPTUAL PARA EL MANEJO DE LAS PESQUERÍAS

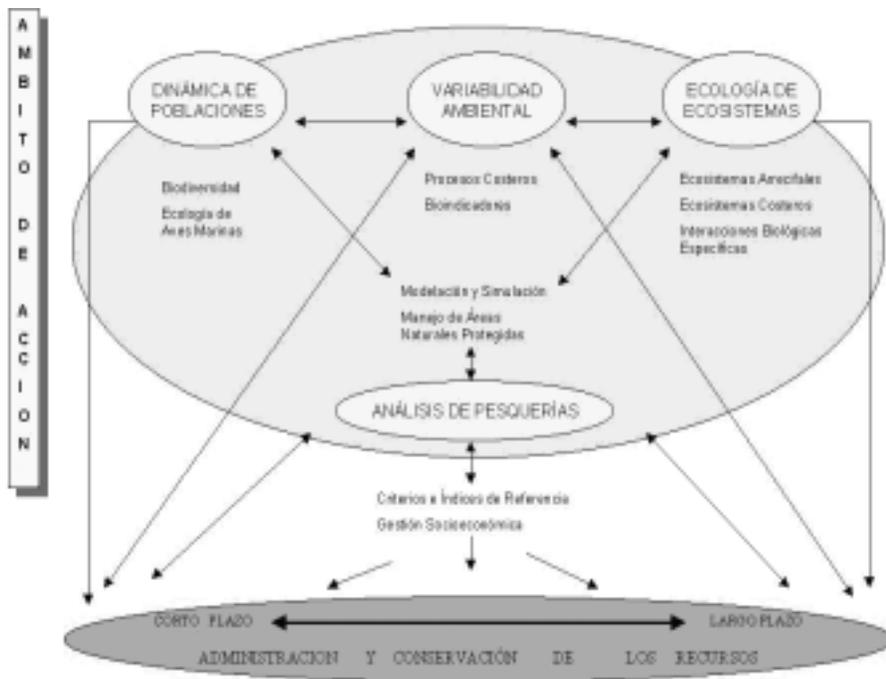
La alta diversidad de las especies explotables en el Golfo de México y la diversidad de hábitat en los que éstas se desarrollan a través de sus diferentes estadios de vida, obliga a abandonar la visión de recursos pesqueros aislados y adentrarse en el conocimiento profundo de los procesos que se suceden dentro del ecosistema del que forman parte, además de considerar los ciclos ambientales, económicos y políticos a que esta sujeta la pesca; todo lo cual tiene que ver con el análisis de variables de tipo ambiental, ecológico, tecnológico, socioeconómicos y políticas (figura 2).

Este tipo de información, indispensable para soportar el manejo de las pesquerías, puede ser generada en el seno de un grupo de investigación multidisciplinario, con capacidad de análisis y evaluación de riesgos ante la toma de cualquier decisión. Evidentemente esto requiere de una planeación en la investigación, de voluntad, compromiso y cooperación. Así como de la generación de criterios e índices de referencia comprensibles tanto para el tomador de decisiones como para el usuario y público en general.

El manejo de los recursos acuáticos requiere además de la participación de los usuarios y las autoridades en materia de pesquerías, ordenamiento ecológico, conservación, legislación ambiental, economía, etc. contribuyendo cada disciplina para la emisión de una respuesta conjunta. De la misma manera, la decisión sobre aplicar cualquier medida de manejo de los recursos pesqueros, debe estar sustentada en la investigación científica y ser consensada tanto por los usuarios del recurso como por las autoridades locales, regionales, estatales, federales e incluso internacionales cuando el recurso lo amerite. Además de ello, es importante que una medida no implique la restricción de alguna actividad sin tener alguna otra actividad alternativa, solo ello y la garantía de obtener a cambio un beneficio que conduzca a elevar la calidad de vida de la comunidad humana usuaria, garantizará que cualquier norma que se aplique tenga éxito.

La administración pesquera no puede normar los recursos en forma aislada sin provocar alteraciones en otros recursos asociados del mismo u otro

FIGURA 2. SE PRESENTA EN FORMA ESQUEMÁTICA LA NECESIDAD DE VINCULAR LA TOMA DE DECISIONES EN EL LARGO Y CORTO PLAZO TANTO CON LA INFORMACIÓN BIOLÓGICA COMO CON LA SOCIAL Y ECONÓMICA. LA TOMA DE DECISIONES DEBE INCLUIR TANTO EL CONCEPTO DE APROVECHAMIENTO COMO EL DE CONSERVACIÓN DEL RECURSO. EL ESQUEMA PROPONE ENTENDER QUE SI BIEN LAS DECISIONES DE CORTO PLAZO ESTÁN DETERMINADAS POR LA NECESIDAD DEL APROVECHAMIENTO Y DE LA RESPUESTA POBLACIONAL A LA PESCA, ESTAS ÚLTIMAS OBEDECEN A PROCESOS EVOLUTIVOS Y COEVOLUTIVOS DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL Y LOS ECOSISTEMAS EN QUE SE INTEGRAN



ecosistema. Ejemplos de ello son la fauna de acompañamiento que en ocasiones llega a registrar proporciones de diez partes por una de las especies objetivo; la captura incidental, que en ocasiones se convierte en especie objetivo; el impacto de los arrastreros sobre las comunidades bentónicas; o las alteraciones sobre especies nativas, derivadas de la introducción y traslocación de especies para la acuicultura (DOF 2000). Todo ello dificulta

que se tenga la suficiente reglamentación para explotar adecuadamente los recursos, por lo que se adoptan medidas de recursos similares que en ocasiones no es lo más conveniente. Así, la necesidad de una normalización consensada por los gobiernos de los diferentes países es preponderante.

No es posible seguir reproduciendo esquemas concebidos en el pasado en una realidad diferente. Actualmente, debe predominar la visión de manejo integral y se debe trabajar para lograr un desarrollo socialmente justo, económicamente sostenible y ambientalmente viable.

Dado el agotamiento de los recursos que tradicionalmente se han venido explotando, es momento de mirar hacia aquéllos recursos que como las algas marinas tienen un potencial en la biotecnología. Asimismo, es importante seguir explorando e investigando para lograr el cultivo y la explotación de especies económicamente más rentables que la tilapia, trucha y ostión. La fauna de acompañamiento que tiene un bajo o nulo valor en el mercado, tiene un valor nutricional comparable al valor de las especies objetivo, por lo que es recomendable investigar acerca de procesos de industrialización de éstos y otros productos marinos que proporcionen un valor agregado. En términos de conservación y presentación de los productos pesqueros que también proporcionan un valor agregado y son elemento clave en la competitividad en el mercado, aún falta mucho por desarrollar. Si se desea que la posición de la pesca mejore, es momento de dar un giro de la consideración de pesca de subsistencia a la de microempresas pesqueras; esto sólo se podrá lograr a través de la generación de proyectos productivos, sustentados en investigación científica, que deberán estar asociados a un cambio en la visión de las comunidades pesqueras, quienes deberán asumirse como pequeños empresarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Anuario Estadístico de Pesca 2001*. Comisión Nacional de Pesca. SAGARPA, México.
- Arenas, F.P. y Díaz de León, C.A. (eds.). 1999. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. 1997-1998*. SEMARNAP. Instituto Nacional de la Pesca. 670 pp.
- Breton, Y. 2002. Pesquerías artesanales: Resiliencia y transformaciones en la transición manejo pesquero-manejo costero. En: López, F.G. (ed.). *Aquamar Internacional*. Cancún, Quintana Roo. México.
- Carta Nacional Pesquera. 2000. *Diario Oficial de la Federación*. Tomo DLXIII. No. 20.

- Casey J. M. y Myers R. A. 1998. Near extinction of a large, widely distributed fish. *Science* 281: 690-692
- Field C. B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J. T. y Falkowski P. 1998. Primary Production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240.
- INEGI. 1999. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. Tomo II. INEGI. Gobierno del Estado de Veracruz. 906 pp.
- Jackson, J. B. C. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-638.
- Mendoza, N.A. y S. Sánchez. 1997. Organización del Sector Pesquero. En: Flores, H.D., Sánchez, P., Seijo, J. y F. Arreguín. (eds.). *Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Serie Científica 7. 496 pp.
- Myers R. A. y B. Worm. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423:280-283.
- NMFS (National Marine Fisheries Service). 1997. 1997 Shark Evaluation Annual Report. Southeast Fisheries Science Center. Summary.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 1996. Our Living Oceans. Technical Report, NMFS-F/SPO-19.
- Shipp, R. 1999. Status of exploited fish species in the Gulf of Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds). *The Gulf of Mexico large marine ecosystem. Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. 196-204 pp.
- Watson, R. y Pauly D. 2001. Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* 414: 534-536.
- Weiss, R. 2003. Key Ocean Fish Species ravaged, study finds. *Paper of the Washington Post*. Thursday, May 15, 2003. Página A01.
- Worn B. y Myers R. A. 2003. Meta-analysis of cod-shrimp interactions reveals top-down control in oceanic food webs. *Ecology* 84: 162-173.

HIPOXIA EN EL GOLFO DE MÉXICO

Nancy N. Rabalais

INTRODUCCIÓN

Existe una creciente preocupación alrededor del mundo en lo que respecta a la sobreproducción de nutrientes provenientes de diversas fuentes y los efectos ecológicos dominantes que éste tiene en las áreas costeras y estuarinas. Aunque hay una gran cantidad de cambios que pueden ocasionar el aumento en la acumulación de materia orgánica en un sistema marino (eutrofización, según la define Nixon [1995]), el factor independiente más común en esta situación es el aumento en la cantidad de nitrógeno y fósforo que reciben las aguas marinas. Con el aumento de la población mundial, su localización en regiones costeras y la expansión agrícola en las cuencas de los ríos, la eutrofización se está convirtiendo en un problema ecológico mayor en todas las aguas costeras del mundo. El ser humano ha alterado los ciclos globales del nitrógeno y el fósforo en vastas regiones y ha aumentado la movilidad y disponibilidad de estos nutrientes dentro de los ecosistemas marinos (Peierls *et al.* 1991, Howarth *et al.* 1996, Vitousek *et al.* 1997, Caraco y Cole 1999). Este ingreso de sustancias controladas por los humanos es el resultado de sus actividades, en particular de la aplicación de fertilizantes con nitrógeno y fósforo, la fijación de nitrógeno de los cultivos de leguminosas y la deposición atmosférica de nitrógeno oxidado proveniente de la quema de combustibles fósiles. Los cambios en las proporciones relativas de

estos nutrientes, así como de los silicatos, pueden exacerbar la eutrofización, favorecer el florecimiento nocivo de algas y agravar las condiciones de falta de oxígeno (Officer y Ryther 1980, Smayda 1990, Conley *et al.* 1993, Turner *et al.* 1998).

El exceso de nutrientes conduce a una degradación de la calidad del agua producida por el aumento del fitoplancton y por el crecimiento de algas filamentosas. Las cargas de nutrientes cada vez más abundantes son la causa de algunos de los brotes de algas nocivas o dañinas (HAB, por sus siglas en inglés), incluyendo las formas tóxicas. Los efectos secundarios incluyen una mayor turbidez o aguas escasas en oxígeno (= hipoxia), lo cual eventualmente genera una pérdida de hábitat con sus respectivas consecuencias en la biodiversidad marina. A lo largo de las últimas dos décadas, se ha vuelto cada vez más evidente que los efectos de la eutrofización, incluyendo la falta de oxígeno, no son situaciones menores y localizadas, sino que tienen implicaciones de gran escala y que se están extendiendo rápidamente (Díaz y Rosenberg 1995, Nixon 1995).

El agua con menos de 2 mg l⁻¹ de oxígeno disuelto es considerada hipóxica. La hipoxia se da de manera natural en muchos entornos marinos del mundo, como los fiordos, cuencas profundas, zonas de mar abierto de oxígeno mínimo y zonas de oxígeno mínimo asociadas con sistemas de surgencia, como sucede alrededor de la plataforma de Yucatán (Kamykowski y Zentara 1990). Las aguas hipóxicas y anóxicas (sin oxígeno) han existido a través de las eras geológicas, pero su aparición en áreas costeras poco profundas y en estuarios parece ir en aumento (Díaz y Rosenberg 1995). Este capítulo se enfoca en éstas áreas del Golfo de México.

DISTRIBUCIÓN DE LA HIPOXIA EN LOS ESTUARIOS DEL NORTE DEL GOLFO DE MÉXICO

No todos los sistemas costeros con cargas elevadas de nutrientes conducen al proceso de eutrofización o al desarrollo de hipoxia. Muchos ríos vierten grandes cantidades de agua dulce cargada con nutrientes y carbón orgánico, pero no aparecen zonas de productividad aumentada por los nutrientes y/o hipoxia/anoxia de las aguas del fondo. Resulta más probable que los procesos de un aumento en la biomasa de fitoplancton, acumulación de carbono y falta de oxígeno se presenten en sistemas estuarinos o costeros, caracterizados por un mayor tiempo de residencia del agua, y columnas estratificadas, ya sea controladas por la salinidad, la temperatura o ambas.

La cantidad de sedimentos suspendidos que se depositan en un sistema costero, también influye en la mayor producción ocasionada por un ingreso elevado de nutrientes.

El volumen de descarga de agua dulce, excluyendo la carga de nutrientes, puede influir en el tiempo de residencia, la estratificación, la turbidez y la dilución de nutrientes. Los años en que el río Misisipi tiene un mayor flujo, ocasionan una estratificación intensificada en la plataforma continental adyacente, mayor biomasa de clorofila y una hipoxia de aguas del fondo más diseminada (Rabalais *et al.* 1998). En otros estuarios, como el del río Hudson, los años con fuertes descargas ocasionan un menor tiempo de residencia, aumento en la turbidez, menor estratificación, menor producción primaria y menor eutroficación (Howarth *et al.* 2000). Sin embargo, la descarga de este río en la plataforma continental de la caleta de Nueva York, tendría resultados similares al flujo del Misisipi con una mayor estratificación, biomasa de clorofila e hipoxia de aguas de fondo (Swanson y Sindermann 1979, Whitley 1985).

Entre los estuarios de Estados Unidos de América, los que se encuentran en el Golfo de México presentan características que los vuelven más propensos a desarrollar hipoxia que los que se encuentran en las costas este y oeste (figura 1) (Turner 2001). El rango de población dentro de la cuenca, que es un buen factor de predicción de la carga de nutrientes, es similar en los estuarios del Golfo y los demás. La profundidad promedio de los estuarios del Golfo de México es menor que la de otros estuarios en EE.UU., característica que permitiría la mezcla generada por el viento y reduciría la probabilidad de estratificación e hipoxia. Sin embargo, los rangos menores de mareas y los mayores rangos de acumulación de sedimentos, aumentan el tiempo de residencia del agua y la acumulación de materia orgánica. Asimismo, el clima subtropical de los estuarios del Golfo de México, comparado con los del resto de los EE.UU., aumenta el ritmo de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis y la respiración.

HIPOXIA ADYACENTE A LOS RÍOS MISISIPI Y ATCHAFALAYA

La zona más grande de aguas costeras con poco oxígeno en los Estados Unidos de América, y en todo el extremo occidental del océano Atlántico está en la parte norte del Golfo de México, en la plataforma continental de Louisiana/Texas; un área que se encuentra bajo la influencia de la descarga de agua dulce y la carga de nutrientes del sistema del Misisipi (figura 2)

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LOS ESTUARIOS EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE MÉXICO CON HIPOXIA (AMARILLO) O ANOXIA (ROJO) EN ALGÚN MOMENTO DURANTE EL AÑO (DE BRICKER ET AL. 1997).

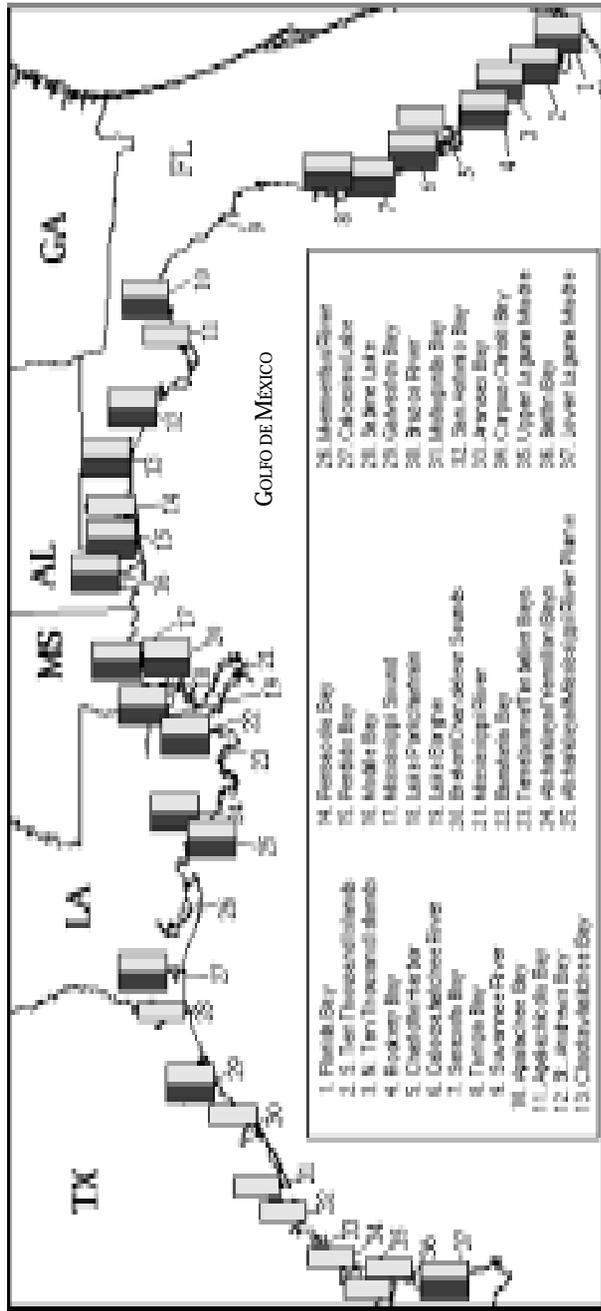
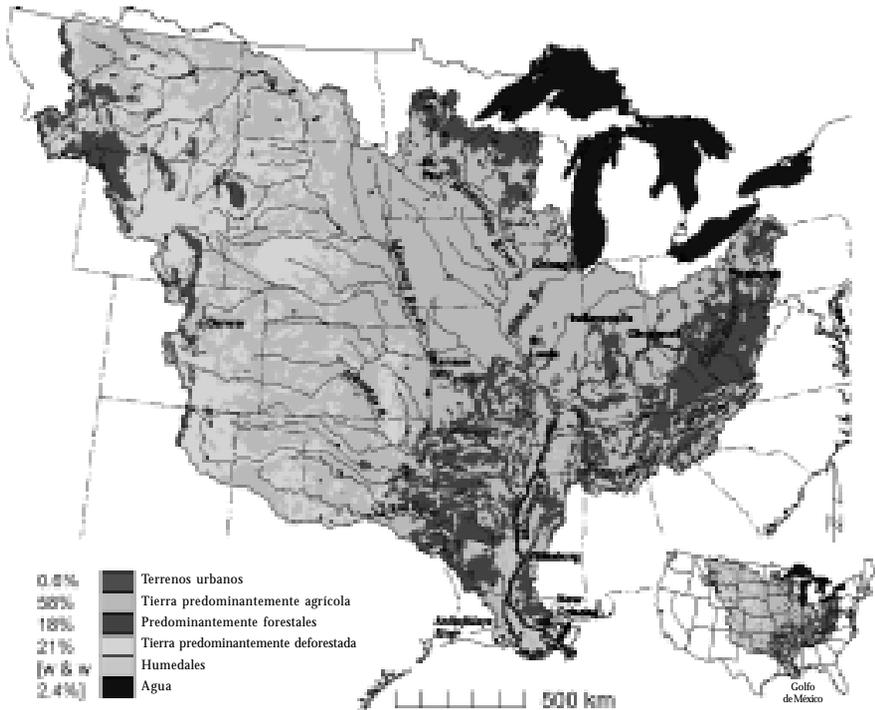


FIGURA 2. DRENAJE Y USO DE LA TIERRA EN LA ZONA DEL MISISIPÍ (MODIFICADO A PARTIR DE GOOLSBY *ET AL.* 1999) CON EL ÁREA DE HIPOXIA DEL 2001 SOBREPUESTA



Fuente de datos: N. Rabalais.

(Rabalais y Turner 2001). La extensión de la aireación de fondo de las aguas hipóxicas a mediados del verano ($=2 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$) en el periodo 1985-1992 tuvo un promedio de 8,000 a 9,000 km^2 , pero aumentó hasta un rango de entre 16,000 y 20,000 km^2 de 1993-2002 (figuras 3 y 4). Las aguas hipóxicas son las que prevalecen desde finales de la primavera hasta finales del verano, y la hipoxia está más extendida y es más persistente en unos años que en otros. Estas aguas se distribuyen desde profundidades bajas cerca de la costa (de 4 a 5 m) hasta 60 m, pero aparecen típicamente entre los 5 y los 30 m. Aunque la hipoxia se da principalmente en la columna de agua inferior, puede abarcar desde la mitad hasta los dos tercios inferiores. La hipoxia se empieza a

desarrollar por debajo de la picnoclina entre mediados y finales de la primavera, y después se expande e intensifica a lo largo del verano hasta que la actividad de tormentas tropicales o una serie de frentes fríos altera la estratificación, lo cual permite que la columna se vuelva a mezclar. El desarrollo de la eutrofización y la hipoxia está relacionado con la carga de nutrientes de los ríos, principalmente en forma de nitratos, los cuales aumentaron en la segunda mitad del siglo veinte. Las aguas enriquecidas con nutrientes estimulan la producción *in situ* de material orgánico que, cuando se hunde a la capa inferior, consume oxígeno más rápido de lo que lo puede reemplazar por mezcla vertical a través de la columna estratificada. Los cambios en el ecosistema costero están directamente relacionados con los cambios dentro de la zona que recibe el agua y con la carga de nutrientes. Los aumentos de producción de algas y el agravamiento de la hipoxia son paralelos a los aumentos de los flujos de nutrientes.

El sistema del río Misisipi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México a través de dos distribuidores principales, el delta ramificado principal al sureste de la ciudad de Nueva Orleans, Luisiana y el delta del río Atchafalaya, 200 km al oeste que lleva aproximadamente una tercera parte del flujo (figura 1) (Meade 1995). El agua dulce, los sedimentos y los materiales disueltos y particulados son transportados principalmente en dirección oeste a lo largo de la plataforma continental interna y media de Luisiana/Texas, especialmente durante la descarga pico de la primavera. La reversión de la corriente hacia el este en el verano, durante la descarga baja, ayuda a mantener el agua dulce y sus componentes en la plataforma continental. Aunque el área de influencia de la descarga es una plataforma continental abierta, la magnitud del flujo, el régimen anual de corrientes y el promedio de 75 días de residencia para el agua dulce producen un estuario sin límites, estratificado durante la mayor parte del año. Esto se debe principalmente a las diferencias de salinidad con una intensificación de la estratificación durante el verano causada por el calentamiento de la superficie. El flujo del Misisipi y del Atchafalaya es tan grande que hace ver pequeños a todos los demás sistemas que aportan agua dulce. Estos dos ríos son las fuentes fluviales primarias de agua dulce de la plataforma continental de Luisiana (Dinnel y Wiseman 1986) y del Golfo de México (80% del flujo de agua dulce de los ríos estadounidenses drenan al Golfo) [Dunn 1996].

Dunn (1996) estimó el aporte de nutrientes de 37 arroyos que drenan al Golfo de México para los años de 1972 a 1993. Con respecto a estos 37

FIGURA 3. CONTORNOS DEL OXÍGENO DEL AGUA DE FONDO PARA LOS CRUCEROS DE MEDIADOS DE VERANO EN 1986, 1993 Y 1998. EL ÁREA DONDE EL OXÍGENO DISUELTO ES MENOR A 2 mg L^{-1} ESTÁ SOMBRADA (FUENTE DE DATOS: N. RABALAI).

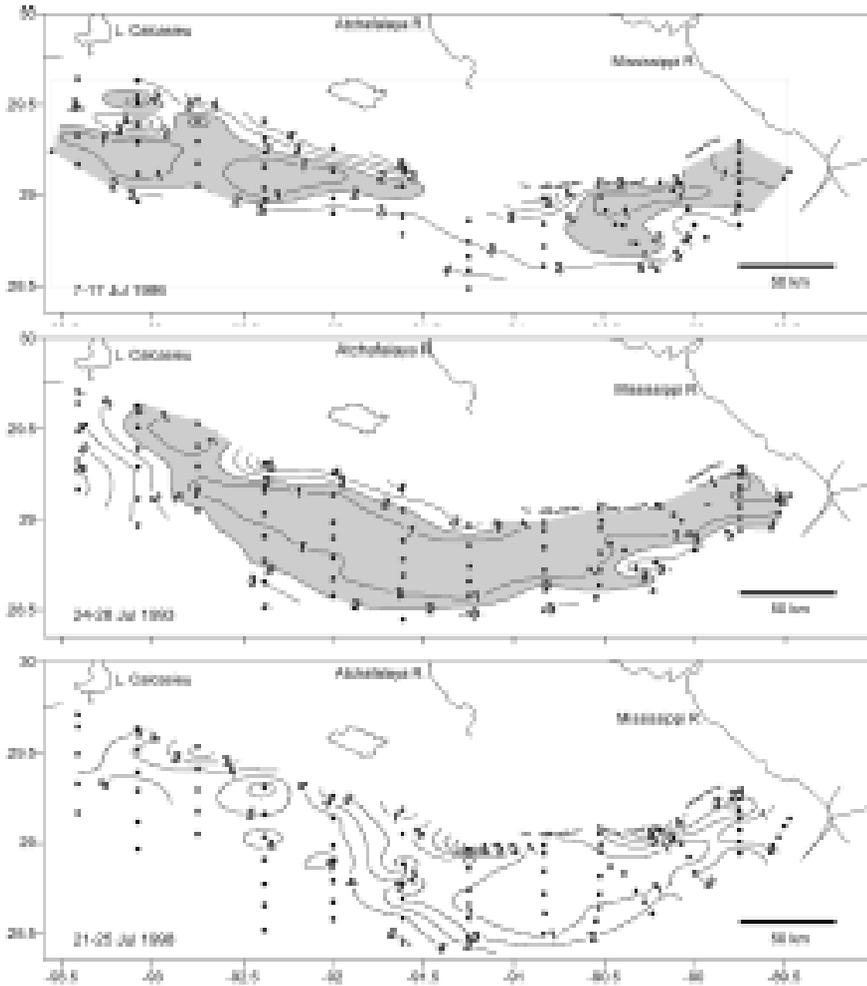
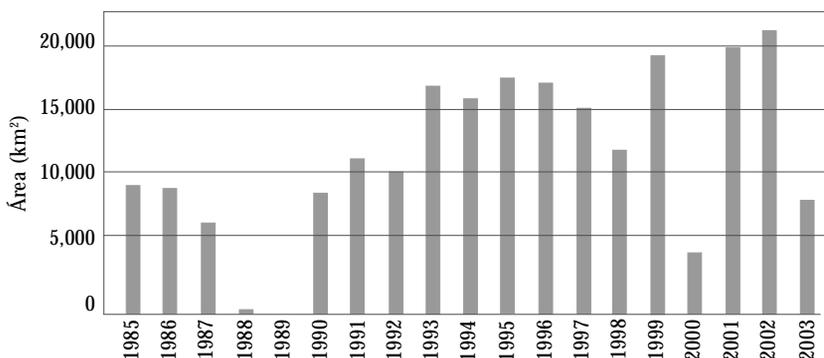


FIGURA 4. EXTENSIÓN ESTIMADA DEL ÁREA DE HIPOXIA EN AGUAS DE FONDO ($=2 \text{ mg L}^{-1}$) PARA CRUCEROS DE MEDIADOS DE VERANO ENTRE 1985 Y 2003 (ACTUALIZACIÓN DE RABALAIS *ET AL.* 1999, RABALAIS Y TURNER 2001). LOS AÑOS DE 1988 Y 2000 FUERON AÑOS DE SEQUÍA (EN VERANO Y PRIMAVERA, RESPECTIVAMENTE) EN LA ZONA DEL RÍO MISISIPÍ. UNA SERIE DE TORMENTAS TROPICALES ALTERARON LA ESTRATIFICACIÓN Y LA HIPOXIA EN 2003. (FUENTE DE DATOS: N. RABALAIS).



arroyos pertenecientes a los estados de Texas y Florida, los flujos combinados de los ríos Misisipi y Atchafalaya representan el 91% de la carga total estimada de nitrógeno. Si se consideran solamente los arroyos entre la Bahía de Galveston (Texas) y el delta del Misisipi, es decir los que probablemente tienen influencia en la zona de hipoxia, los flujos combinados del Misisipi y el Atchafalaya representan el 96% de la descarga anual de agua dulce y el 98.5% de la carga total de nitrógeno. Algunos cálculos similares para la carga anual total de fósforo indican que representan el 88% del total de los 37 arroyos, y el 98% de los ríos entre la Bahía de Galveston y el delta del Misisipi en cuanto a la contribución relativa de los ríos Misisipi y Atchafalaya.

El agua que recibe el río Misisipi representa el 41% del total correspondiente a 48 estados de la zona sur de los EE.UU., y drena un área de 3.2 millones de km². El uso de la tierra en esta área, que mantiene al 27% de la población estadounidense (alrededor de 70 millones de personas), es predominantemente agrícola (figura 2) (Goolsby *et al.* 1999). Esto empezó a

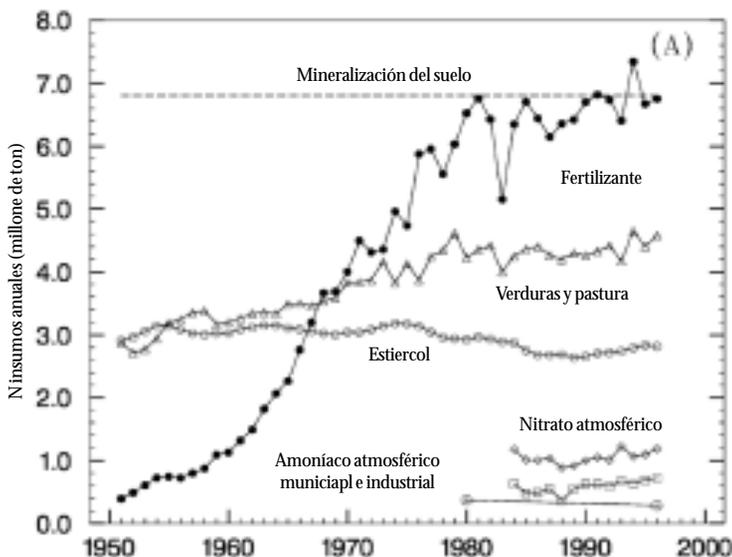
sucedir a principios del siglo diecinueve, cuando los colonos emigraron hacia el oeste y atravesaron el continente norteamericano (Turner y Rabalais 2003). Para mediados del siglo diecinueve, conforme la producción aumentó en la tierra cultivada el centro de población se encontraba en los estados centro occidentales y se convirtió en lo que ahora se conoce como la “canasta de pan” de la nación. Dentro de la cuenca del Misisipi, el 56% de las marismas se han convertido en tierras para agricultura, espacios para navegación, presas y diques. El drenaje artificial bajo la superficie en muchas de las tierras de cultivo expedita el transporte de nitratos desde el suelo a las aguas superficiales. Esta práctica, junto con el aumento del uso de fertilizantes, incrementa el flujo de nitratos de los campos agrícolas a las aguas subsidiarias que recibe la cuenca del Misisipi. Este río también ha sido modificado para la navegación y control de inundaciones con diques que se extienden a lo largo del río desde Cairo, Illinois hasta el Golfo de México.

Además de los cambios al paisaje, el aporte antropogénico de nitrógeno y fósforo ha aumentado a raíz de la agricultura, de las fuentes puntuales y de la deposición atmosférica. La descarga anual del sistema del Misisipi contribuye con un total de sedimentos de 210×10^6 ton, 1.6×10^6 ton de nitrógeno, de los cuales 0.95×10^6 ton es nitrato, y 0.58×10^6 t es nitrógeno orgánico; 0.1×10^6 ton corresponde a fósforo y 2.1×10^6 ton a sílice (Goolsby *et al.* 1999). El cálculo de exportación de nitrógeno por las aguas del río sobre las aguas “puras” de otros ríos (en condiciones preagricultura y preindustria), representa un aumento de 2.5 a 7.4 veces esta cantidad (Howarth *et al.* 1996). Las actividades agrícolas son las que contribuyen de forma más importante al ingreso de nitratos a los arroyos y, de todas las entradas de nitrógeno a las tierras de cultivo, desde la década de los 50 sólo han aumentado los fertilizantes y las leguminosas (figura 5). La concentración promedio y el flujo de nitrógeno (por unidad de volumen de descarga) aumentó de 1950 a 1980, principalmente en la primavera. Este resultado es consistente con el uso de fertilizantes en la cuenca (Turner y Rabalais 1991).

Debido a que la cantidad de agua dulce recibida (que afecta la estratificación) y la carga de nitrógeno (que afecta la producción primaria) influyen en la distribución y dinámica de la hipoxia, es importante entender la variabilidad interanual de la descarga, ya que afecta los procesos biológicos estacionales. A través de dos diferentes enfoques, Donner *et al.* (2002) y Justiae *et al.* (2003) concordaron que entre un 20 y 25% del aumento en el flujo de nitratos entre la mitad de la década de los 60 y mediados de los 90 es atribuible a una mayor erosión de las tierras adyacentes y a la descarga del

río, mientras que el resto se debe a un aumento en la carga de nitrógeno en el entorno. Con las concentraciones de nitratos en el bajo Misisipi estabilizadas alrededor de 100 μM desde principios de los años 90, los cambios causados por el clima en la descarga, tienen una clara influencia en la aparición

FIGURA 5. INGRESO ANUAL DE NITRÓGENO A PARTIR DE LAS FUENTES PRINCIPALES EN LA CUENCA DEL MISISIPÍ, 1951-1996 (DE GOOLSBY *ET AL.* 1999)



estacional de la hipoxia.

La evidencia de conjuntos de datos a largo plazo y del registro sedimentario demuestra que los indicadores de un aumento en la productividad de los ecosistemas marinos, es decir, la eutrofización de las aguas de la plataforma continental y el subsecuente empeoramiento del estrés de oxígeno en las aguas de fondo, están altamente correlacionados con los incrementos históricos de la concentración y la carga de nitrógeno inorgánico disuelto en los ríos a lo largo de los últimos 50 años (Rabalais *et al.* 2002). Las pruebas se pueden observar en los cambios a largo plazo en la profundidad del disco de Secchi y en la productividad de diatomeas; aumento en la

acumulación de restos de diatomeas y el carbono de origen marino en los sedimentos; y aumento de la presencia de sustitutos que empeoran las condiciones del oxígeno en los sedimentos: abundancia de glauconita, foraminíferos bénticos y ostrácodos. Los datos de los sedimentos indican que la hipoxia no era una característica de la plataforma continental antes de 1900 y que ésta *podría* haber existido en cierto grado antes del periodo entre 1940 y 1950; sin embargo, ha empeorado a partir de entonces. Algunos modelos recientes de las dimensiones e intensidad de la hipoxia relacionada con el flujo de nitratos del Misisipi (Justiæ *et al.* 2002, Scavia *et al.* 2003, Turner *et al.* 2003) indican que la hipoxia como fenómeno difundido probablemente no existía en la plataforma de Luisiana antes de 1970.

La zona hipóxica del norte del Golfo de México cae dentro de una importante área comercial y de pesca recreativa. Según progresa la privación de oxígeno, la capacidad de los organismos para residir, o incluso sobrevivir, ya sea en el fondo o dentro de la columna de agua se ve afectada (Rabalais y Turner 2001). Cuando los niveles de oxígeno caen por debajo de los valores críticos, los organismos capaces de nadar (como los peces demersales, cangrejos portunidos y los camarones) evacuan el área. El estrés en la fauna menos móvil varía, pero también experimenta estrés en diferentes niveles, y puede incluso llegar a morir conforme las concentraciones de oxígeno descienden a cero. Importantes recursos pesqueros se ven afectados de forma variable por la mortalidad directa, la migración forzada, la reducción del hábitat adecuado, el aumento en la susceptibilidad a la depredación, los cambios en los recursos alimenticios y la disrupción de los ciclos de vida. Los efectos de la eutrofización, incluyendo la hipoxia, son bien conocidos en algunos sistemas, e incluyen la pérdida de pesquerías comercialmente importantes (por ejemplo, los casos del Mar Báltico y el Mar Negro). Los impactos a muchos niveles del aumento de nutrientes y la creciente hipoxia no se conocen para muchos componentes de la productividad en el Golfo de México, incluyendo los componentes pelágicos y bénticos; los componentes primarios y secundarios de la red trófica; y finalmente, el rendimiento pesquero. No obstante, se debe considerar una cama marina de 20,000 km² usualmente productiva, donde la pesca de peces y camarones con redes de arrastre no existe por periodos prolongados en el verano. Aunque no han habido pérdidas catastróficas en los recursos pesqueros en el norte del Golfo de México y, de hecho, ha habido un aumento en la abundancia de ciertos componentes pelágicos, es importante prestar atención a los impactos potenciales del empeoramiento de la hipoxia en las especies importantes ecoló-

gica y comercialmente, así como a los procesos ecológicos alterados.

PROBABILIDADES DE HIPOXIA EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

El único sitio mencionado por Díaz y Rosenberg (1995 y actualizaciones subsecuentes) en México es la laguna de Nichupté, en Cancún, que experimenta hipoxia las 24 horas del día a lo largo del año, debido a una carga orgánica excesiva y sobrepoblación de algas (E. Escobar, comunicación personal). Otras lagunas, especialmente aquellas con camas extensas de pastos marinos, como la Laguna Madre de Tamaulipas, la Laguna de Tamiahua y la Laguna de Términos, probablemente también sean hipóxicas las 24 horas del día, de manera similar a otros hábitats de pastos marinos que durante la noche tienen ritmos de respiración que exceden su capacidad de surtirse de oxígeno atmosférico. Sin embargo, este proceso es algo natural en estos hábitats. El daño potencial de los pastos marinos, debido a los procesos de eutrofización se debe al exceso de nutrientes que provoca el crecimiento de algas filamentosas o al efecto oscurecedor provocado por la excesiva biomasa de fitoplancton en la columna de agua. Ambos tipos de crecimiento excesivo conducen a un decremento de los pastos marinos y del hábitat esencial que representan para otros organismos, incluyendo su papel como área de crianza para importantes especies comerciales en sus primeras etapas de desarrollo.

Cualquier puerto cerrado o estuario con un flujo restringido que reciba drenaje tratado o sin tratar, aguas provenientes de tierras de siembra o depósitos de nitrógeno provenientes de la quema de combustibles fósiles (plantas eléctricas, vehículos), es susceptible de presentar hipoxia. El flujo de nutrientes y materiales que requieren de oxígeno es proporcional a la población en el área que surte agua al estuario. Aunque no se tienen datos que lo sustenten, es probable que algunos candidatos sean Veracruz y La Habana, así como otros sitios que reciben un flujo de agua dulce, como los puertos de Tuxpan con el río Tuxpan; Tampico, con el Pánuco y Coatzacoalcos con el río del mismo nombre.

En el caso de los ríos Coatzacoalcos, al suroeste de la bahía de Campeche, y el sistema Grijalva-Usumacinta y Champotón al sureste de la misma bahía, ambos ríos grandes que desembocan en el sur del Golfo de México, se podría desarrollar hipoxia costera *si* hubiera estratificación y acumulación de biomasa de fitoplancton. Hay una transición continua de sedimentos terrígenos a sedimentos carbonatados en la plataforma de Campeche a lo

largo de estas desembocaduras en dirección poniente-oriente. Los sedimentos terrígenos que dominan la plataforma adyacente al Coatzacoalcos apuntan hacia cierto nivel de acumulación de sedimentos que resultaría de un giro ciclónico casi permanente que también puede conducir a la hipoxia en caso de que exista suficiente carga de nutrientes y una incrementada productividad primaria. A la fecha, no se ha documentado la hipoxia en el área. No obstante, la falta de metazoarios y fauna béntica en los alrededores del delta del Coatzacoalcos en verano y un mayor contenido orgánico en los sedimentos indican que es probable que sí haya hipoxia (E. Escobar, comunicación personal). En la plataforma de Campeche adyacente a los ríos Grijalva-Usumacinta, hay más sedimentos terrígenos hacia el interior de la costa donde se puede desarrollar hipoxia en contraste con los sedimentos carbonatados hacia el exterior donde la corriente paralela a la costa promueve la mezcla.

CONCLUSIÓN

La mayoría de los sistemas marinos responden a un incremento en el ingreso de nutrientes con un aumento en la producción primaria. Si la productividad superficial se ve aumentada en especies que son preferidas por la comunidad de especies de zooplancton, entonces es probable que haya un aumento en la productividad de las poblaciones pelágicas y demersales que dependen, ya sea de las células vivas, o del material de desecho que se va al fondo. Sin embargo, existe un umbral en el que la carga de nutrientes y el carbono producido en un sistema marino pueden exceder la capacidad de asimilación, lo cual se manifiesta en la degradación de la calidad del agua con sus consecuentes efectos negativos en los componentes del ecosistema y su funcionamiento. La falta prolongada de oxígeno puede causar mortalidad masiva en la vida acuática, alterar las comunidades que habitan ahí, reducir la diversidad biológica, impactar la capacidad del sistema para sostener poblaciones biológicas, y alterar los ciclos naturales de los elementos.

Las comparaciones entre ecosistemas a lo largo de un gradiente de creciente enriquecimiento de nutrientes y la eutrofización o cambios de un ecosistema específico a lo largo del tiempo en un gradiente que tiende hacia el aumento en la eutrofización, proporcionan información sobre cómo el enriquecimiento en nutrientes afecta a las comunidades costeras. Caddy (1993), en un resumen sobre los mares semicerrados, demostró que hay una relación directa entre la productividad pesquera como respuesta al aumen-

to en la eutrofización. Donde hay pocos nutrientes, la productividad pesquera es baja. Conforme la cantidad de nutrientes aumenta, aumenta también la productividad. Cuando sigue aumentando la eutrofización, se da una reducción en la productividad, pero ésta es variable. Los organismos bénticos son los primeros recursos que se reducen por el aumento en la frecuencia de la hipoxia estacional y eventualmente la anoxia, seguida por los peces que se alimentan en el fondo. La pérdida de pesca planctívora continúa conforme aumenta la eutrofización, lo cual eventualmente generará un cambio en la composición de la comunidad de zooplancton. No se sabe en qué punto de este ciclo se encuentra la actividad pesquera en el Golfo de México donde existe una creciente eutrofización.

Conforme las aguas costeras de los EE.UU. y el mundo se vuelven hipóxicas, o con el aumento de la severidad de la hipoxia en los lugares donde ya existe —una trayectoria propuesta por muchos investigadores y administradores de recursos— ¿qué sucederá con los hábitat, los recursos básicos, las redes alimenticias y, finalmente, con los recursos importantes para el consumo humano? El Golfo de México no es el único en el mundo con estas características, ni es inmune a los impactos negativos del incremento en la hipoxia. A pesar de que no ha habido pérdidas catastróficas en los recursos pesqueros en el norte del Golfo y, de hecho, hay aumentos en la abundancia de ciertos componentes, los impactos potenciales del empeoramiento de las condiciones hipóxicas probablemente aparezcan, dada la experiencia en otros sistemas (por ejemplo, los mares Báltico y Negro), donde hubo una reducción drástica de especies importantes tanto desde el punto de vista ecológico como comercial.

Reducir el ingreso de nutrientes excesivos a aguas estuarinas y marinas para el mejoramiento de la calidad del agua costera, incluyendo la disminución en la hipoxia, requiere de voluntad individual, social y política. Las soluciones propuestas con frecuencia son controversiales y tienen un costo social y económico si se ven desde un punto de vista cerrado y a corto plazo. No obstante, se pueden integrar métodos poco costosos para reducir el uso e ingreso de nutrientes en un plan de administración que ocasione mejores hábitats y calidad del agua, tanto dentro de las cuencas como en los afluentes subsidiarios (National Research Council 2000). Los planes exitosos con una implantación favorable y resultados positivos traspasan fronteras geopolíticas. Ejemplos de estos resultados son: el Acuerdo de la Bahía de Chesapeake; los Planes de Administración y Conservación Comprensiva desarrollados en el programa de Estuarios Nacionales de EE.UU. para mu-

chos de los estuarios del país; el acuerdo de Long Island; los esfuerzos de Dinamarca, Holanda y Suecia; y la cooperación internacional entre las naciones alrededor del Báltico como parte de la Comisión de Helsinki (Boesch y Brinsfield 2000). Estos esfuerzos son generalmente más exitosos en la reducción de fuentes puntuales de nitrógeno y fósforo que con las fuentes múltiples de alta solubilidad e ingreso incrementado de nitrógeno atmosférico. Se han observado éxitos en la reducción de nutrientes, como el caso de la recuperación coralina en la Bahía de Kaneohe y en la mejoría de la claridad del agua y la recuperación de los pastos marinos en las bahías de Tampa y Sarasota (Smith 1981, Johansson y Lewis 1992, Sarasota Bay National Estuary Program 1995). El creciente deterioro de la calidad de las aguas costeras y los éxitos demostrados para la reducción de nutrientes, son razones suficientes para continuar y extender los esfuerzos para reducir el sobre-enriquecimiento de nutrientes y los efectos nocivos de la hipoxia.

BIBLIOGRAFÍA

- Boesch, D.F. y R. B. Brinsfield 2000. Coastal eutrophication and agriculture: contributions and solutions. Páginas 93-115. En: E. Balázs, E. Galante, J. M. Lynch, J. S. Schepers, J.-P. Toutant, E. Werner, y P. A. Th. J. Werry (eds.). *Biological Resource Management: Connecting Science and Policy*. Springer.
- S. Bricker, C. Clement, S. Frew, M. Harmon, M. Harrisa y D. Pirhalla 1997. NOAA's Estuarine Eutrophication Survey, Volumen 4: Gulf of Mexico Region. Silver Spring, MD: Office of Ocean Resources Conservation and Assessment.
- Caddy, J. F. 1993. Toward a comparative evaluation of human impacts on fishery ecosystems of enclosed and semi-enclosed seas. *Reviews in Fisheries Science* 1: 57-95.
- N. F. Caraco y J. J. Cole. 1999. Human impact on nitrate export: An analysis using major world rivers. *Ambio* 28: 167-170.
- Conley, D. J., C. L. Schelske y E. F. Stoermer 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 101: 179-192.
- R. J. Diaz y R. Rosenberg. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 33: 245-303.
- Dinnel, S. P. y W. J. Wiseman, Jr. 1986. Fresh-water on the Louisiana and Texas Shelf. *Continental Shelf Research* 6: 765-784.
- Donner, S. D., M. T. Coe, J. D. Lenters, T. E. Twine y J. A. Foley 2002. Modeling the impact of hydrological changes on nitrate transport in the Mississippi River Basin from 1955 to 1994. *Global Biogeochemical Cycles* 16(3)10.1029/2001GB001396.

- Dunn, D. D. 1996. *Trends in Nutrient Inflows to the Gulf of Mexico from Streams Draining the Conterminous United States 1972 – 1993*. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 96—4113, Prepared in cooperation with the U.S. Environmental Protection Agency, Gulf of Mexico Program, Nutrient Enrichment Issue Committee. Austin, Texas: U.S. Geological Survey.
- Goolsby, D. A., W. A. Battaglin, G. B. Lawrence, R. S. Artz, B. T. Aulenbach, R. P. Hooper, D. R. Keeney, y G. J. Stensland 1999. *Flux and Sources of Nutrients in the Mississippi-Atchafalaya River Basin, Topic 3 Report for the Integrated Assessment of Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 17. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Program.
- Howarth, R. W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsend, N. Jaworski, K. Lajtha, J. A. Downing, R. Elmgren, N. Caraco, T. Jordan, F. Berendse, J. Freney, V. Kudeyarov, P. Murdoch y Z. Zhao-Liang 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-79.
- Howarth, R. W., D. P. Swaney, T. J. Butler y R. Marino 2000. Climate control on eutrophication of the Hudson River estuary. *Ecosystems* 3: 210-215.
- J. O. R. Johansson y R. R. Lewis, III. 1992. Recent improvements of water quality and biological indicators in Hillsborough Bay, a highly impacted subdivision of Tampa Bay, Florida, USA. Páginas 1199-1215 in R. A. Vollenweider, R. Marchetti, y R. Viviani (eds.), *Marine Coastal Eutrophication, Science of the Total Environment* suppl. no. 0048-9697.
- Justiã, D. N. N. Rabalais y R. E. Turner 2002. Modeling the impacts of decadal changes in riverine nutrient fluxes on coastal eutrophication near the Mississippi River Delta. *Ecological Modeling* 152: 33-46.
- Justiã, D. R. E. Turner y N. N. Rabalais 2003. Climatic influences on riverine nitrate flux: Implications for coastal marine eutrophication and hypoxia. *Estuaries* 26: 1-11.
- Kamykowski, D. y S. J. Zentara 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research* 37: 1861-1874.
- Meade, R. H. (ed.) 1995. *Contaminants in the Mississippi River, 1987-92*. U.S. Geological Survey Circular 1133. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey.
- National Research Council. 2000. *Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution*. Committee on Causes and Management of Coastal Eutrophication, Ocean Studies Board and Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.
- Nixon, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.

- Officer, C. B. y J. H. Ryther 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 3: 83-91.
- Peierls, B. L., N. Caraco, M. Pace, y J. Cole 1991. Human influence on river nitrogen. *Nature* 350: 386-387.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, W. J. Wiseman, Jr. y Q. Dortch 1998. Consequences of the 1993 Mississippi River flood in the Gulf of Mexico. *Regulated Rivers: Research & Management* 14: 161-177.
- Rabalais, N. N., y R. E. Turner (eds.) 2001. *Coastal Hypoxia: Consequences for Living Resources and Ecosystems*. Coastal and Estuarine Studies 58. Washington, DC.: American Geophysical Union.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justia, Q. Dortch, y W. J. Wiseman, Jr. 1999. *Characterization of hypoxia: Topic 1 Report for the Integrated Assessment of Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 15. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Program.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner y D. Scavia 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *BioScience* 52: 129-142.
- Sarasota Bay National Estuary Program. 1995. *Sarasota Bay: The Voyage to Paradise Reclaimed*. Brooksville, Florida: Southwest Florida Water Management District.
- Scavia, D., N. N. Rabalais, R. E. Turner, D. Justia, y W. J. Wiseman, Jr. 2003. Predicting the response of Gulf of Mexico hypoxia to variations in Mississippi River nitrogen load. *Limnology and Oceanography* 48: 951-956.
- Smayda, T. J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for global epidemic. Pages 29-40 in E. Graneli, B. Sundstrom, R. Edler y D. M. Anderson (eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier.
- Smith, S. V. 1981. Responses of Kaneohe Bay, Hawaii, to relaxation of sewage stress. Pages 391-410 in B. J. Neilson y L. E. Cronin (eds.), *Estuaries and Nutrients*. Humana Press, Inc., Clifton, New Jersey.
- Swanson, R. L. y C. J. Sindermann (eds.) 1979. *Oxygen Depletion and Associated Benthic Mortalities in New York Bight, 1976*. NOAA Professional Paper 11, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, DC.
- Turner, R. E. 2001. Of manatees, mangroves, and the Mississippi River: Is there an estuarine signature for the Gulf of Mexico? *Estuaries* 24: 139-150.
- Turner, R. E. y N. N. Rabalais 1991. Changes in Mississippi River water quality this century. Implications for coastal food webs. *BioScience* 41: 140-148.
- Turner, R. E. y N. N. Rabalais 2003. Linking landscape and water quality in the Mississippi River basin for 200 years. *BioScience* 53: 563-572.
- Turner, R. E., N. Qureshi, N. N. Rabalais, Q. Dortch, D. Justia, R. F. Shaw y J. Cope

1998. Fluctuating silicate:nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Proceedings of the National Academy of Science* 95: 13048-13051.
- Turner, R. E., N. N. Rabalais, E. M. Swenson, M. Kasprzak y T. Romaine 2003 (en prensa). Summer hypoxia in the northern Gulf of Mexico and its prediction from 1978 to 1995. *Marine Environmental Research*.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger, y D. G. Tilman. 1997. Human alterations of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.
- Whitledge, T. E. 1985. *Nationwide Review of Oxygen Depletion and Eutrophication in Estuarine and Coastal Waters. Executive Summary*. Report to National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. Upton, New York: Brookhaven National Laboratory.

LA CONDICIÓN REPRODUCTIVA DEL CAMARÓN BLANCO
LITOPENAEUS SETIFERUS (CRUSTACEA; PENAEIDAE):
EVIDENCIAS DE DETERIORO AMBIENTAL EN EL SUR DEL
GOLFO DE MÉXICO

*Carlos Rosas, Edwin L. Cooper, Cristina Pascual, Roberto Brito,
Rolando Gelabert, Teresa Moreno, Gustavo Miranda y
Ariadna Sánchez*

INTRODUCCIÓN

Los efectos de los constantes cambios ambientales en los océanos y en los sistemas costeros debido a las actividades humanas requieren de diferentes herramientas y estrategias que permitan una evaluación del estado de salud de los ecosistemas. Los camarones peneidos son organismos acuáticos abundantes en las zonas costeras tropicales del mundo y en este contexto el Golfo de México no es la excepción. El camarón blanco *Litopenaeus setiferus* es una de las especies de camarones peneidos que habitan el Golfo de México y la zona costera del océano Atlántico de Norte América. Esta especie se distribuye desde el sur de Nueva York en su límite norte, hasta la plataforma continental adyacente a la laguna de Términos, Campeche en su límite sur (Williams 1984).

El ciclo de vida del camarón blanco del Golfo de México se inicia cuando los adultos se reproducen en la plataforma continental entre la isóbata de los 4 y los 40 m (Williams 1984). Ahí los huevos fecundados quedan a merced de las corrientes marinas donde, 12 a 14 horas después eclosiona una larva nauplio que no se alimenta. Posteriormente y por un período de entre 12 a 15 días las larvas planctónicas se desarrollan, moviéndose hacia la costa en búsqueda de zonas de refugio en las lagunas costeras y los estuarios, donde arriban como poslarvas. Ahí los camarones son reclutados en las

áreas salobres con vegetación sumergida, las cuales son utilizadas como áreas de crecimiento. En estas zonas los camarones pasan entre siete a nueve meses, antes de migrar nuevamente al mar donde se reclutan como adultos (Chow *et al.* 1993, King 1948, Misamore y Browdy 1996, Renaud 1986, Rosas *et al.* 1999, Zein-Eldin 1986).

Tomando en cuenta que *L. setiferus* habita tanto en la zona estuarina como en la marina, y que por su abundancia juega un papel ecológico importante, esta especie puede ser adecuada para monitorear la salud de ambos ecosistemas. En el sur del Golfo de México la especie *L. setiferus* está expuesta a muy diversas presiones ambientales entre las cuales se incluyen la pesca excesiva, la contaminación de bahías, estuarios y lagunas costeras con pesticidas asociados con la agricultura, la generada por las descargas de aguas negras de las ciudades costeras y la provocada por la industria petrolera que opera en la Sonda de Campeche. Ante tal situación se ha observado que la estructura de las comunidades bentónicas se ha modificado como consecuencia de las sinergias producidas por la acción conjunta de estas presiones ambientales, afectando, entre otras a las poblaciones de camarones que habitan en esta zona (Balcom 1994, Benitez y Bárcenas 1996, Botello *et al.* 1996, Gold-Bouchot y Herrera-Rodríguez 1996).

La determinación del estado de salud de los organismos vivos en general suele ser un concepto controvertido debido a la falta de criterios específicos que permitan definir con precisión cuales son los límites de tolerancia ante las variaciones ambientales en un contexto multifactorial. En organismos acuáticos se han llevado a cabo numerosos ensayos intentando determinar cuales son los límites tolerables de los factores ambientales y de los contaminantes que determinan el desempeño y la supervivencia de muchas especies de peces, crustáceos y moluscos (Hanke 1993, Rosas *et al.* 1992, Schmidt-Nielsen 1990, Vernberg 1983). No obstante, se ha demostrado que la aplicación de los resultados obtenidos en el laboratorio, está limitada a la especulación referente a la forma en que los organismos acuáticos son capaces de compensar cuando las variables ambientales actúan en conjunto en el medio acuático.

La interacción entre variables y la capacidad fisiológica de los organismos para mantener la homeostasis son elementos que deben de ser considerados en la evaluación del estado de salud. Al mismo tiempo se ha reconocido que la mayoría de los factores ambientales que determinan la distribución de los organismos, incluidos los contaminantes, actúan en una escala de tiempo que difícilmente puede ser repetida en condiciones de laboratorio,

lo que limita aún más su extrapolación a las poblacionales silvestres (Krebs 1998).

En años recientes diversos estudios se han llevado a cabo intentando aplicar métodos ya existentes de evaluación del estado de salud a los organismos acuáticos. Utilizando camarones peneidos como modelo (Rosas *et al.* 2002, Sánchez *et al.* 2001, Pascual *et al.* 1998, Pascual *et al.* 2003b) se ha podido establecer que existe una estrecha relación entre la condición nutricional, el sistema inmune y la capacidad reproductiva de los camarones tanto mantenidos en condiciones controladas, como en los provenientes de poblaciones silvestres. Con estos estudios se han podido establecer intervalos de variación de los metabolitos sanguíneos y de diversas respuestas inmunológicas considerando la interacción múltiple de los factores ambientales para varias especies de crustáceos, incluyendo al camarón blanco del Golfo de México *Litopenaeus setiferus* (Pascual *et al.* 2002a, Pascual *et al.* 2002b).

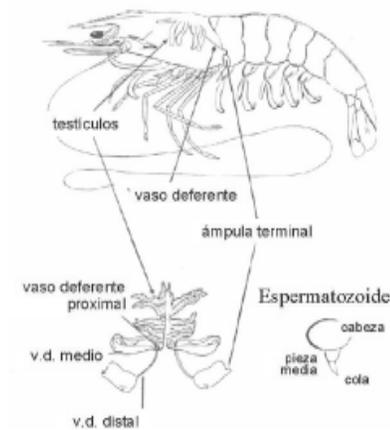
En este trabajo se presentan los resultados de más de 10 años de investigaciones realizadas en las poblaciones de camarón blanco del Golfo de México *L. setiferus*, en las cuales se demuestra cómo las condiciones ambientales han modulado y pudieran estar afectando el estado de salud y la capacidad reproductiva de estos organismos. Utilizando camarones como modelo y a partir de los resultados obtenidos, es posible establecer que, siendo los camarones peneidos una especie ecológicamente importante y de amplia distribución, el deterioro en sus poblaciones pudiera estar reflejando el deterioro de la comunidad bentónica de las zonas de plataforma costera donde se distribuyen estos organismos.

ANTECEDENTES

El camarón blanco del Golfo de México *Litopenaeus setiferus* (antes *Penaeus setiferus*) es una de las especies de camarones más importantes del Atlántico de América. Esta especie se distribuye desde el sur de Nueva York hasta la Península de Yucatán (Muncy 1984). Aunque desde hace más de 50 años se cuenta con la descripción de la biología reproductiva de *L. setiferus* (King 1948), los mecanismos relacionados con su maduración y los procesos reproductivos han sido investigados muy recientemente. La anatomía del sistema reproductivo de los machos, se compone de dos estructuras pareadas: testículo y vaso deferente, este último está dividido en cuatro regiones: sección proximal, porción media, porción distal y una región muscular

altamente dilatada llamada ámpula terminal en la cual se termina de formar el espermatóforo (figura 1).

FIGURA 1. APARATO REPRODUCTOR DE LOS MACHOS ADULTOS DE *Litopenaeus setiferus*



El télico de la hembra en el caso de *L. setiferus* es abierto, por lo cual la fertilización de los huevos se encuentra estrechamente relacionada con la adecuada transferencia y adherencia del espermatóforo, ya que los espermatozoides son transportados y protegidos por esta estructura. El espermatóforo es expulsado del ámpula terminal a través del gonoporo. Durante el proceso de expulsión ambas mitades se ensamblan fuera del cuerpo formando un espermatóforo completo, con estructuras que le facilitan el anclaje sobre la superficie del télico de la hembra (King 1948, Ro *et al.* 1990, Chow *et al.* 1991, Krol *et al.* 1992). Así, el éxito reproductivo de la especie está directamente relacionado con las características del espermatóforo las cuales están determinadas por la integridad de las estructuras, la adherencia y la calidad de las células espermáticas.

Todo esto permite de manera conjunta la adecuada fecundación de los ovocitos al momento del desove. La transferencia del espermatóforo es el paso final de una serie de eventos que comprenden el comportamiento de

la cópula en los decápodos, la cual es afectada por factores ambientales, como la temperatura, la salinidad, la profundidad de la columna de agua, la intensidad de luz, el fotoperiodo y los contaminantes, y el estrés entre otros factores (Adiyodi 1985, Yano *et al.* 1988, Pérez y Ramos 1992). Desde el primer reporte sobre la maduración y desove exitoso de *L. setiferus* bajo condiciones de laboratorio, se registró la dificultad de los machos para transferir el espermátforo, la cual fue relacionada con infecciones bacterianas (Brown *et al.* 1979). Muchos estudios se han realizado con el fin de dilucidar las posibles causas del deterioro de la calidad reproductiva de los camarones machos. Este fenómeno fue definido como “síndrome degenerativo del aparato reproductivo de los machos” (SDARM), y se caracteriza por una progresiva disminución del número de células espermáticas y un aumento en el porcentaje de células anormales y muertas (Chamberlain *et al.* 1983). Este síndrome y el de melanización (u oscurecimiento de las estructuras reproductivas) del sistema reproductivo de los machos (SMAR) fueron asociados a una misma enfermedad (Bray *et al.* 1985, Talbot *et al.* 1989). Ahora se considera que la melanización y la degeneración del espermátforo son dos procesos diferentes (Alfaro y Lozano 1993). El oscurecimiento del aparato genital se debe a la producción de melanina generada por uno de los mecanismos de defensa más importante de los camarones, el sistema profenoloxidasa, el cual es activado por la presencia de agentes patógenos (Ashida y Söderhäll 1984, Talbot *et al.* 1989, Alfaro y Lozano 1993). El síndrome de degeneración ha sido correlacionado con problemas de naturaleza endocrina los cuales están a su vez asociados con el estrés ambiental (Alfaro y Lozano 1993, Rosas *et al.* 1993). Los estudios de laboratorio han sido la base para poder interpretar con precisión cómo el estrés ambiental modula la capacidad reproductiva de las poblaciones. Estudios recientes han demostrado que en la Sonda de Campeche la capacidad reproductiva de *L. setiferus* es significativamente menor a la observada en otras poblaciones de la misma especie ubicadas en otras regiones del Golfo de México. La melanización y baja cantidad de células espermáticas viables han sido características frecuentes en la población campechana de *L. setiferus* (Pascual *et al.* 2002b). Los cambios en la estructura de la comunidad bentónica de la cual se alimenta la población como consecuencia de las perturbaciones ambientales producidas por la contaminación marina, y/o los efectos deletéreos de las altas temperaturas del verano, las cuales afectan la calidad reproductiva y/o los daños genotóxicos como consecuencia de la acumu-

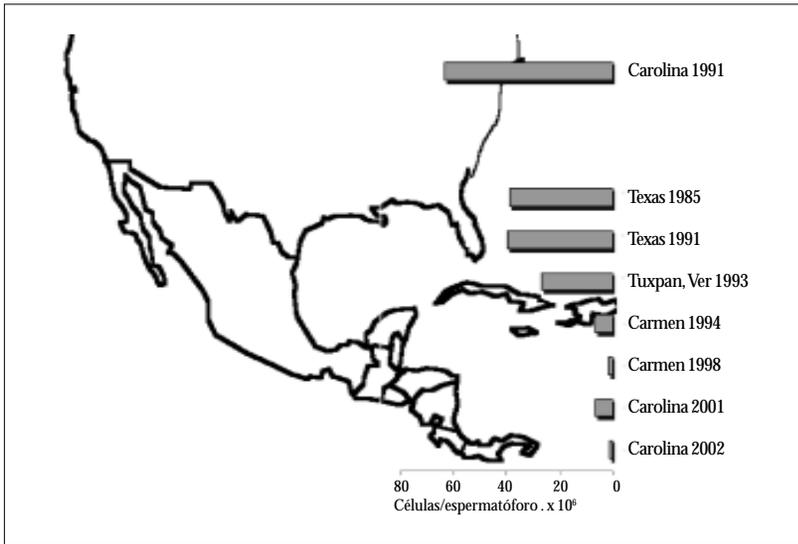
lación de contaminantes desde las fases estuarinas y/o el aumento del entrecruzamiento entre parientes como consecuencia de la reducción de la población debido a la pesca excesiva, son algunas de las hipótesis más importantes. Tomando en cuenta lo anterior en este capítulo se presentan los resultados de los últimos diez años de investigaciones sobre las variaciones de la calidad espermática de los machos adultos del camarón blanco del Golfo de México *L. setiferus*, utilizando la calidad espermática como un modelo que permita explicar el estado de salud reproductiva de la población. Al mismo tiempo, la línea base del estado nutricional y la respuesta inmune de juveniles y adultos de esta especie es propuesta como una herramienta para identificar posibles alteraciones ambientales futuras en el sur del Golfo de México, partiendo de que esta línea base representa la variabilidad biológica de cada una de las respuesta evaluadas.

SALUD REPRODUCTIVA

El estudio de la calidad reproductiva de la población de machos adultos de *L. setiferus* se remonta a los estudios realizados en las poblaciones de Carolina del Sur, Texas, Tuxpan, Veracruz y Ciudad del Carmen, Campeche por diversos autores (Bray *et al.* 1982, Browdy *et al.* 1991, Leung-Trujillo y Lawrence 1987, Leung-Trujillo y Lawrence 1991, Pascual *et al.* 1998, Pascual *et al.* 2003b, Rosas *et al.* 1993). A partir de esos estudios se pudo establecer que hay una reducción de la cantidad de células por espermátforo a lo largo del gradiente latitudinal de distribución de la especie (figura 2).

Estos resultados pusieron en evidencia dos cosas principalmente. La primera de ellas fue el hecho de que la capacidad reproductiva de *L. setiferus* responde directamente al gradiente que imponen las condiciones ambientales a lo largo de su intervalo de distribución, y la otra es que la condición reproductiva varía no sólo a través del gradiente latitudinal sino también presenta variaciones a lo largo de los años. Aunque ambas observaciones pueden ser de una gran utilidad práctica, ha sido necesario realizar primero diversas investigaciones para establecer cómo las condiciones ambientales gobiernan la capacidad reproductiva, de tal forma que éstas puedan ser utilizadas para explicar posibles perturbaciones ambientales o humanas en la zona de distribución de la especie

FIGURA 2. VARIACIONES DE LA CANTIDAD DE CÉLULAS POR ESPERMATÓFORO EN MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS*



Fuente: Datos tomados de (Bray *et al.*, 1982; Browdy *et al.*, 1991; Leung-Trujillo y Lawrence, 1987; Leung-Trujillo y Lawrence, 1991; Pascual *et al.*, 1998; Pascual *et al.*, 2003b; Rosas *et al.*, 1993).

EFFECTO DE LA TEMPERATURA

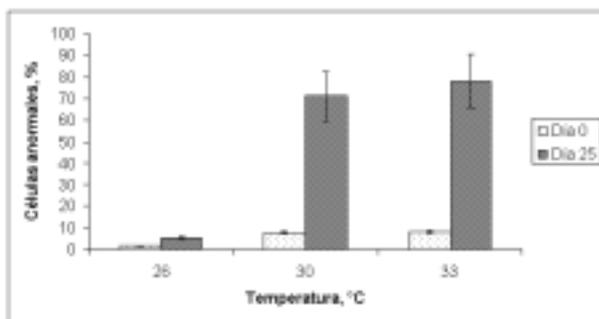
De acuerdo con (Muncy 1984) las poblaciones que se distribuyen al sur de la ciudad de Nueva York únicamente se reproducen durante el verano, justo cuando las temperaturas de la zona alcanzan los 25 °C, mientras que las poblaciones en el sur del Golfo de México se reproducen todo el año, gracias a que las temperaturas mayores de los 28 °C favorecen el desarrollo de los ovarios en las hembras, estimulando a los machos a la actividad reproductiva entre los meses de marzo y noviembre. El efecto del gradiente de temperatura es dramático. De acuerdo con los datos presentados en la figura 2, las diferencias en calidad espermática entre las poblaciones que se encuentran en los extremos del intervalo de distribución son de 20 veces menos células espermáticas para las poblaciones del sur del Golfo de México que la obser-

vada en las poblaciones del norte del Atlántico americano. Es decir, existe una relación inversa entre temperatura y actividad reproductiva y calidad espermática (Pascual *et al.* 2003b).

¿Cual podría ser la razón para que la temperatura determine la cantidad de células espermáticas en los machos adultos de esta especie? ¿Cómo son las variaciones anuales de la temperatura en la zona en donde se encuentran los adultos de *L. setiferus*? Con el objeto de contestar estas pregunta se desarrollaron una serie de experimentos en los cuales se evaluaron las variaciones de la calidad espermática en machos de camarón expuestos a 26, 30 y 33 °C (Pascual *et al.* 1998, Sánchez *et al.*, 2002). Al mismo tiempo se colocaron termómetros digitales de registro automático, los cuales han permitido conocer las variaciones diarias de la temperatura a 8 m de profundidad donde habitan los reproductores de esta especie.

Los resultados de laboratorio mostraron que existe un efecto marcado de la temperatura sobre la calidad espermática de los machos adultos de *L. setiferus*. Por arriba de 26 °C se observó un aumento en la proporción de células anormales las cuales indican una reducción del potencial reproductivo de los organismos. Aunque los camarones presentaron una amplia capacidad metabólica para tolerar las diferentes temperaturas experimentales (Sánchez *et al.* 2002), el efecto sobre la calidad espermática mostró que el sistema reproductor es mucho más sensible a los cambios de temperatura que el metabolismo energético.

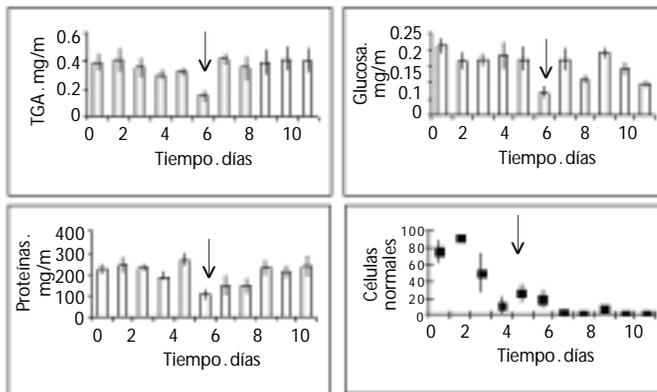
FIGURA 3. CALIDAD ESPERMÁTICA, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DE CÉLULAS ANORMALES PARA MACHOS DE *L. SETIFERUS* EXPUESTOS A DIFERENTES TEMPERATURAS



Fuente: Pascual *et al.* 1998.

¿Por qué la temperatura afecta la calidad espermática? En otro estudio Pascual *et al.* (2003b) utilizando una temperatura de 33 °C como botón disparador del deterioro reproductivo demostraron que el efecto de la temperatura es extraordinariamente rápido ya que es capaz de afectar el metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas además de la calidad espermática 5 días después de iniciado el experimento (figura 4). Estos resultados son particularmente importantes si se toma en cuenta que la regeneración de los espermatozoides de los machos adultos de *L. setiferus* en condiciones naturales se lleva entre 5 y 7 días, tiempo durante el cual, si las condiciones de temperatura son adversas, puede conducir a una pérdida importante de la capacidad reproductiva de la población (Rosas *et al.* 1993). Con el objeto de explicar de qué manera la temperatura podría estar afectando la calidad espermática se estudió también el efecto de los 33 °C sobre la respuesta inmune. Esto se hizo tomando en cuenta evidencias que habían estado demostrando que posible-

FIGURA 4. VARIACIONES DIARIAS DE LOS LÍPIDOS (TGA = TRIACILGLICEROLOS), CARBOHIDRATOS (GLUCOSA), PROTEÍNAS SANGUÍNEAS Y CALIDAD REPRODUCTIVA (CÉLULAS NORMALES %) DE MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS* EXPUESTOS A 33° POR 12 DÍAS. VALORES PRESENTADOS COMO PROMEDIO \pm E.S.

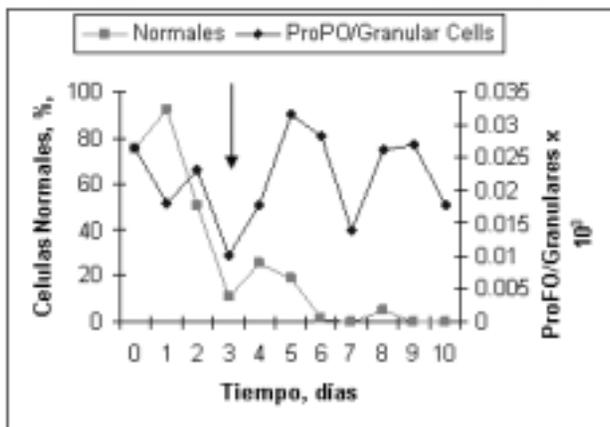


Fuente: Pascual *et al.* 2003b.

mente el propio sistema inmune de los camarones podría estar afectando a las células espermáticas a través de la pérdida de los mecanismos que regulan la producción de melanina (Dougherty y Dougherty 1989, Dougherty 1998). Los resultados de ese estudio demostraron que la temperatura, al intervenir en los procesos metabólicos altera los mecanismos de regulación de la respuesta inmune provocando que los mecanismos de defensa se reviertan en contra de las propias células espermáticas atacándolas como si fueran cuerpos extraños (figura 5).

Aunque estas hipótesis explican en parte las razones por las cuales las altas temperaturas limitan la calidad y la producción de células espermáticas en el sur del Golfo de México, aún faltaba por saber si las variaciones de la temperatura en el medio natural realmente limitan la calidad espermática de la población y si estas variaciones podrían explicar las oscilaciones en la calidad espermática observada a lo largo de los años en que se había estado muestreando la población, (figura 2). Para responder estas incógnitas se colocaron cinco termómetros digitales en la zona en la que normalmente se capturan los reproductores de *L. setiferus* y a una profundidad de entre 8 y

FIGURA 5. RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD ESPERMÁTICA Y EL SISTEMA INMUNE (REPRESENTADO COMO LA RELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD DE LA PROFENOL OXIDAS Y LA CONCENTRACIÓN DE CÉLULAS GRANULARES SANGUÍNEAS) DE MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS* EXPUESTOS A UNA TEMPERATURA DE 33 °C POR 12 DÍAS

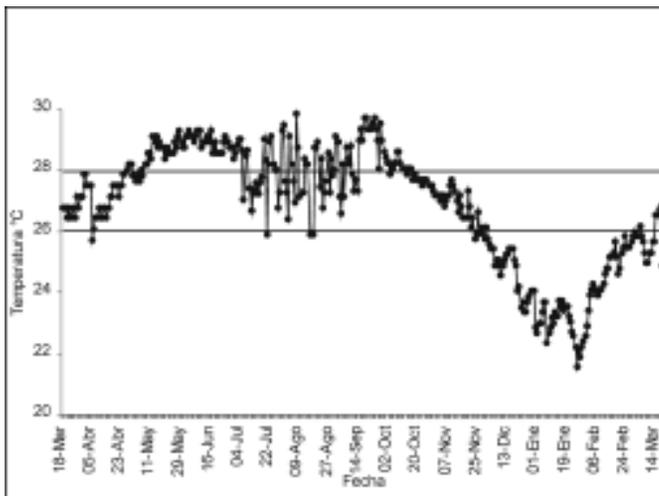


10 m, y se registraron las temperaturas de la zona cada 15 minutos durante 18 meses, entre abril del año 2000 y octubre del año 2001. Posteriormente y con el objeto de corroborar la información, se realizó un monitoreo mensual de la temperatura a la misma profundidad y en la misma zona hasta el mes de abril del año 2003. Tomando en cuenta la cantidad de datos colectados, se construyó una curva con los valores promedio por día para un ciclo anual en un intento por establecer la relación entre las variaciones de este parámetro y la calidad espermática obtenida de los machos capturados en esta misma zona (figura 6).

Como se puede apreciar, la temperatura en la plataforma continental varía entre 21.5 °C en enero y 30 °C en septiembre con oscilaciones de hasta 4 °C en un día en los meses de julio y septiembre demostrando que los camarones no únicamente están expuestos a variaciones anuales importantes de la temperatura, sino además a oscilaciones significativas en base diaria y semanal.

De acuerdo con Primavera (1985), lo que afecta más a la reproducción de los camarones son las oscilaciones en la temperatura, ya que éstas pueden

FIGURA 6. VARIACIONES DIARIAS DE LA TEMPERATURA EN LA PLATAFORMA COSTERA ADYACENTE A LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE. VALORES OBTENIDOS ENTRE 8 Y 10 M DE PROFUNDIDAD CON TERMÓMETROS DIGITALES



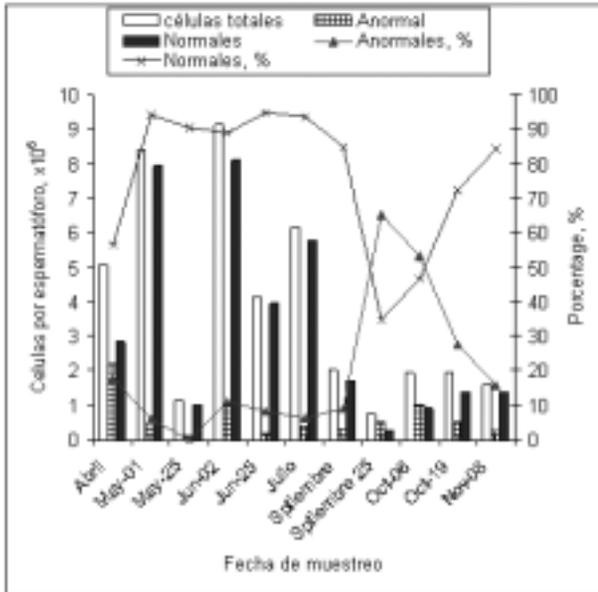
provocar retroceso en el desarrollo ovárico de las hembras y la pérdida de la calidad espermática de los machos. Al graficar las variaciones de la calidad reproductiva de la población de machos de *L. setiferus* a lo largo del año es interesante observar que existe una pérdida significativa de la calidad espermática asociada al mes de septiembre, justo cuando la temperatura es más alta y oscilante (figura 7). Este comportamiento de la calidad reproductiva, entonces, queda ampliamente justificado si se toma en cuenta que existen evidencias experimentales que demuestran que los machos adultos de la especie son altamente sensibles a temperaturas mayores de 28 °C, las que, de acuerdo a los datos presentados en la figura 6, normalmente se presentan en su hábitat natural en los meses de entre julio y septiembre.

Para explicar por que la calidad espermática varía a lo largo de los años (figura 2), es necesario hacer un análisis más global tomando en consideración los reportes de las variaciones históricas de la temperatura en el Golfo de México. De acuerdo con datos de la NOA (2003), en los años de 1998 y 2002 se observaron temperaturas 3 °C por arriba de la temperatura promedio anual del mar ligadas con la presencia del fenómeno de El Niño. Si tomamos estos datos como referencia y los analizamos en el contexto de las variaciones de la calidad espermática mostrada en la figura 2 se podrá ver que justo en esos años se que registraron los niveles más bajos de calidad espermática en la población de machos de *L. setiferus*. En contraste en los años de 1994 y 2001, cuando la temperatura media del mar fue menor a la media normal (NOA 2003), se registraron los valores de calidad espermática mayor, indicando que la calidad espermática de los camarones está ligada a variaciones globales de la temperatura del océano como las provocadas por el fenómeno de El Niño. Aunque hacen falta series de tiempo más largas para establecer una relación causa efecto con respecto a estas variaciones globales de la temperatura del océano, los resultados presentados ahora ponen en evidencia que el camarón blanco *Litopenaeus setiferus* es una especie lo suficientemente sensible a las alteraciones de la temperatura como para ser considerada una especie indicadora de alteraciones provocadas por el calentamiento global o el fenómeno de El Niño en esta región del Golfo de México.

EFFECTO DEL OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto (OD), a diferencia de la temperatura es un factor ambiental regulador del metabolismo de los camarones (Martinez *et al.* 1998,

FIGURA 7. VARIACIONES MENSUALES PROMEDIO DE LA CALIDAD ESPERMÁTICA DE MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS* A LO LARGO DE UN CICLO ANUAL. VALORES DADOS COMO PROMEDIO DE DIVERSOS MUESTREOS REALIZADOS ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2003



Rosas *et al.* 1998, Rosas *et al.* 1999). El papel regulador del OD está dado por su intervención directamente en la capacidad de los organismos de obtener energía a partir de la respiración, vía la fosforilación oxidativa.

En este proceso el oxígeno es el último aceptor de electrones de la cadena respiratoria, permitiéndoles a los camarones, y en general a los organismos aerobios, aprovechar al máximo la energía contenida en los enlaces de las moléculas de carbono que son procesadas en el ciclo de los ácidos tricarbónicos. La diferencia entre usar oxígeno o no, como último aceptor de electrones marca una gran diferencia en la cantidad de energía disponible para realizar trabajo. En este contexto y dependiendo de la especie, los procesos metabólicos pueden ser más o menos eficientes, dependiendo de la sensibilidad de las especies para tolerar bajos niveles de oxígeno disuelto. De

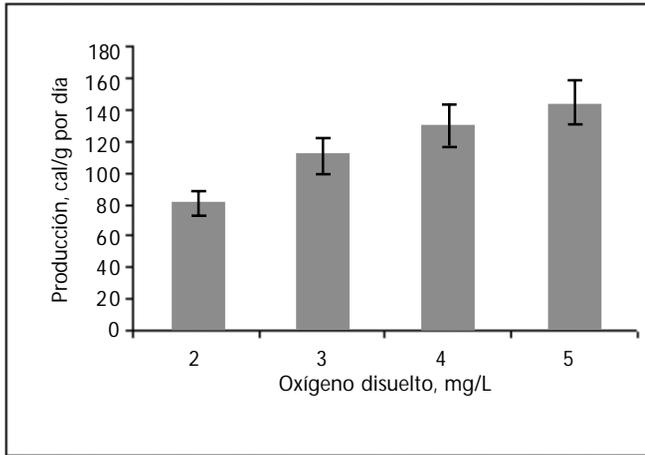
los resultados obtenidos por Martínez *et al.* (1998), Rosas *et al.* (1998,1999) es evidente que una reducción relativamente pequeña de OD de entre 5 a 4 mg/L provocó una reducción de hasta un 25% en la energía canalizada hacia la producción de biomasa (figura 8). Esta limitación es importante si se considera que, en las lagunas costeras y estuarios tropicales las aguas con bajos niveles de oxígeno son comunes, sobre todo cuando éstas se cargan de materia orgánica producto de las lluvias de verano. Ante tal situación, una reducción en el 25% de la energía canalizada a la producción podría ser considerada no sólo en la biomasa *per se* sino también en la cantidad de energía canalizada hacia la producción de gametos, lo cual afectaría directamente al éxito reproductivo, con serias consecuencias para la población. Estudios de laboratorio han demostrado que los camarones son capaces de detectar eficientemente los bajos niveles de oxígeno ambiental los cuales tienden a evitar a través de un comportamiento de escape (Alcaraz *et al.* 1999, Martínez *et al.* 1998, McMahon 1988, Muñoz *et al.* 2000, Renaud 1986). Tomando en cuenta este comportamiento, es posible inferir que la abundancia de los juveniles de *L. setiferus* en los ambientes costeros tropicales junto con los niveles de oxígeno disuelto pudieran ser de gran ayuda para establecer el estado de salud de los ecosistemas.

EFFECTO DE LOS CONTAMINANTES

A la fecha existen pocos estudios en los cuales se haya evaluado la tolerancia de juveniles o adultos de *L. setiferus* a contaminantes específicos. Alcaraz *et al.* (1999) midieron el efecto combinado de los niveles de amonio, nitrito y oxígeno disuelto sobre el consumo de oxígeno de poslarvas de *L. setiferus* y reportaron que esta especie es más sensible que *Penaeus monodon* a los mismos contaminantes. Por su parte Núñez-García (2002) también reportó que los fluidos de perforación utilizados en la industria petrolera afectan la tasa de ingestión de juveniles de *L. setiferus* aun cuando éstos se encuentran en concentraciones tan bajas como 10,000 ppm en la fase de partículas suspendidas.

El efecto genotóxico de los contaminantes derivados de los hidrocarburos ha sido estudiado en invertebrados (Cooper 1997). En este modelo se ha observado que los receptores Ah (AhR) intervienen en muchas respuestas tóxicas inducidas por los hidrocarburos poli halogenados y los hidrocarburos policíclicos (PAH). Los receptores aril hidrocarburo translocadores del núcleo (por sus siglas en inglés Arnt) son un miembro de la superfamilia de las proteínas del shock térmico (bHLH/PAS). El Arnt dimeriza con algu-

FIG. 8. EFECTO DEL OXÍGENO DISUELTO SOBRE LA ENERGÍA CANALIZADA HACIA LA PRODUCCIÓN EN JUVENILES DE CAMARÓN BLANCO *LITOPENAEUS SETIFERUS*. PROMEDIO \pm ES



Fuente: Rosas *et al.* 1999.

nos miembros de la familia de los PAH, incluyendo al ligando activado AhR, formando un complejo que altera la transcripción por asociación específica con promotores asociados a genes blanco involucrados en el sistema inmune. Tomando en cuenta que una de las poblaciones de *L. setiferus* se distribuye en la Sonda de Campeche, donde se encuentra la zona de explotación petrolera más importante del país, es posible que la reducción de la calidad reproductiva de los machos adultos de esta especie pudiera estar asociada con los efectos que los hidrocarburos pudieran estar teniendo en los mecanismos de regulación del sistema inmune vía los efectos en la transcripción de genes. Aunque este modelo debe de establecerse en los camarones, existen evidencias de descontrol inmune en esta especie como para pensar que un mecanismo de esta naturaleza pudiera estar afectando a la población de *L. setiferus* que habita en el sur del Golfo de México, alterando la capacidad reproductiva de los machos. Así, tanto por las variaciones de la temperatura ambiental asociada a fenómenos globales como el fenómeno de El Niño, como por las alteraciones provocadas por el incremento de la materia orgá-

nica en los ríos que descargan a la zona costera y reducen el oxígeno disuelto, como por la presencia de contaminantes, las presiones de la pesca etc., la población de *L. setiferus* se encuentra sujeta a una gran presión ambiental, la cual evidentemente ha afectado de manera importante su abundancia. Por esa razón, nuestro grupo de trabajo ha pensado que esta especie podría ser utilizada como una herramienta de diagnóstico para identificar mayores alteraciones ambientales en la zona, las cuales podrían ser identificadas a partir del análisis de la calidad reproductiva y del estado fisiológico, nutricional e inmunológico de la especie.

HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO

En los años recientes diversas investigaciones han demostrado la utilidad de los parámetros sanguíneos como herramientas para monitorear la condición fisiológica de camarones silvestres y cultivados expuestos a muy diversas condiciones ambientales. Palacios (2000) utilizó triacilgliceroles, glucosa, colesterol, y proteínas para monitorear la condición fisiológica de poblaciones silvestres y cultivadas de los reproductores de *L. vannamei* después de varios desoves. En ese estudio se observó que los camarones silvestres tuvieron una mayor fecundidad la cual estuvo relacionada con mayores niveles de triacilgliceroles, colesterol, proteínas y glucosa en la hemolinfa que los observados en los camarones cultivados. Por su parte, Sánchez *et al.* (2001) observaron que un cambio en la temperatura del agua entre 27 y 30 °C produce variaciones en los niveles de proteínas, lactato, glucosa, triacilgliceroles, colesterol y de la respuesta inmune en adultos silvestres de *L. setiferus*. Ese estudio reveló que en condiciones de cautiverio los niveles de proteínas, triacilgliceroles y colesterol son menores que los observados en los animales recién capturados.

Los metabolitos sanguíneos han sido utilizados también para monitorear los efectos de la temperatura en las poblaciones de camarones adultos de *L. setiferus*. Estudios recientes demostraron que existe una relación entre las variables metabólicas de la hemolinfa, la respuesta inmune y la calidad espermática de camarones mantenidos en condiciones experimentales. Usando una temperatura extrema como estresor (33 °C) se observó una pérdida de la capacidad osmótica, una reducción en los metabolitos sanguíneos, la concentración de hemocitos, la actividad de la profenol oxidasa (ProFO) y la calidad espermática justo después de cinco días de iniciado el experimento, poniendo en evidencia que ante el estrés térmico existen una serie de

mecanismos fisiológicos e inmunológicos que afectan la capacidad reproductiva de esta especie (Pascual *et al.* 2003b). En otro estudio Rosas *et al.* (2002) demostraron para otra especie de camarón (*L. vannamei*) que la salinidad también afecta los metabolitos sanguíneos, debido a los ajustes fisiológicos asociados con el mantenimiento del equilibrio hidromineral.

Los niveles de hemocianina (OxyHc) proteínas sanguíneas, glucosa, triacilgliceroles, colesterol y lactato de los juveniles de *L. vannamei* han sido investigados con el fin de construir una línea base que permita establecer el estado nutricional de los camarones mantenidos en condiciones experimentales o cultivados en estanques que simulan condiciones de producción (Pascual *et al.* 2003a). De éste y otros estudios se ha podido establecer que la calidad del alimento es el factor controlador de los niveles de los metabolitos sanguíneos, lo cual sugiere que estos parámetros pueden ser usados para establecer si una población silvestre se encuentra bien nutrida o está bajo alguna presión nutricional asociada con alguna perturbación ambiental severa (Rosas *et al.* 2001b, Rosas *et al.* 2001a, Rosas *et al.* 2002).

Cuando los componentes sanguíneos son comparados con los obtenidos de otras especies de camarones y de crustáceos en general, se ha observado que los cangrejos y langostas (especies con baja actividad) presentan valores menores a los que se han registrado en especies más activas como jaibas y camarones (Pascual *et al.* 2003a). Por esta razón también se ha podido establecer que los componentes sanguíneos reflejan las adaptaciones fisiológicas y morfológicas las cuales dependen del entorno ecológico en el cual han evolucionado los organismos. En este contexto en el presente estudio se presentan los intervalos biológicos de diferentes parámetros sanguíneos que deberían ser considerados como línea base o de referencia, y que podrían ser utilizados como herramienta de diagnóstico de la población de *L. setiferus* que habitan tanto en la laguna de Términos como en la plataforma costera adyacente. Específicamente el estudio ha sido dedicado a obtener información que defina la línea base de la presión osmótica, oxi hemocianina (OxiHc), glucosa, proteínas, colesterol, lactato, y triacilgliceroles, como indicadores del estado nutricional y fisiológico, así como de la cuantificación de la concentración de los hemocitos, algunos de sus componentes (ProFO) y de la actividad fagocítica, como indicadores del estado inmunológico de esta especie (Rosas *et al.* 2004).

En los cuadros 1 y 2 se presentan los valores que describen el comportamiento estadístico de una muestra de más de 1,400 camarones procedentes de la laguna de Términos y de la plataforma continental adyacente. Estos

valores representan, a nuestro juicio, el intervalo biológico dentro del cual los parámetros sanguíneos deberán moverse para esta población. Considerando un valor promedio (o mediano en el caso de que la distribución no sea normal) \pm el intervalo de confianza al 95% o el rango de cuartiles, según sea el caso, es posible tener un parámetro de referencia para establecer si existen perturbaciones ambientales que modifiquen el estado nutricional o de salud de los organismos, ya sea en la zona de distribución de juveniles o en donde habitan los adultos.

Para realizar ese estudio la población de *L. setiferus* fue muestreada tanto en un ambiente estuarino como en el ambiente oceánico con amplias diferencias de salinidad entre ambos: 11‰ de salinidad en el ambiente donde fueron capturados los juveniles y 32‰ en el ambiente donde fueron capturados los adultos. Rosas *et al.* (2002) demostraron que los camarones cultivados están bien adaptados para utilizar a las proteínas como fuente de energía, moléculas para el crecimiento, a efecto de mantener la presión osmótica y para producir glucógeno y glucosa por vía gluconeogénica. Más aún el sistema inmune, con una fuerte base proteica, depende de manera importante del metabolismo de proteínas (Vargas-Albores y Yepiz-Plascencia 2000, Hall *et al.* 1999, Montañó-Pérez *et al.* 1999, Sritunyalucksana y Söderhall 2000). En este esquema también se ha visto que la hemocianina es una proteína multifuncional como transportador de oxígeno, almacenamiento de proteínas, osmolitos, transportador de ecdisona, precursor de péptidos antifungales, tiene actividad similar a la de la FO y es un importante componente de las proteínas de la sangre. Tomando en cuenta lo anterior diversos autores han coincidido que las proteínas sanguíneas y en general el metabolismo de proteínas es el eje central del metabolismo de los camarones (Adachi *et al.* 2003, Chen y Cheng 1993b, Chen y Cheng 1993a, Destoumieux *et al.* 2001, Fielder *et al.* 1971, Gellisen *et al.* 1991, Pascual *et al.* 2003a). Por esta razón, la evaluación de las proteínas sanguíneas y el contar con valores de referencia puede ser de gran utilidad para identificar perturbaciones ambientales provocadas a los organismos.

El colesterol y los triacilglicérols están directamente relacionados con el tipo de alimento y la condición reproductiva, y por eso han sido reconocidos como indicadores del estado nutricional (Palacios 2000, Palacios *et al.* 1999, Pascual *et al.* 2003a). Debido a su rápida absorción en la glándula digestiva, el colesterol disuelto en la sangre es consistentemente bajo, tal y como ha sido observado en otras especies de camarones (Pascual *et al.* 2003a). Los estudios de laboratorio han demostrado que la absorción de los lípidos

CUADRO 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PESO VIVO Y DE LOS PARÁMETROS DE LA HEMOLINFA Y DE LA GLÁNDULA DIGESTIVA DE JUVENILES, Y ADULTOS DE *L. SETIFERUS*

	N	CONFIANZA		MEDIANA	INTERIOR SUPERIOR		QUARTIL		RANGO	DES. EST.	E. S.	
		PROMEDIO	-95.0000%		+95.0000%	MIN	MAX	QUARTIL				QUARTIL
Peso vivo, g												
Juveniles	112.00	10.54	9.48	11.61	9.25	0.80	27.81	6.67	13.68	7.02	5.67	0.54
Machos	100.00	35.05	33.40	36.70	34.19	15.31	64.79	29.97	39.21	9.24	8.32	0.83
Hembras	60.00	40.33	38.17	42.50	40.04	25.33	64.79	33.64	44.68	39.46	8.38	1.08
Presión Osmótica, mOsm/Kg												
Juveniles	102.00	718.02	705.10	730.94	719.00	573.00	914.00	668.00	761.00	341.00	93.00	65.80
Adultos	159.00	918.55	909.28	927.81	925.00	715.00	1063.00	895.00	949.00	54.00	59.14	4.69
Capacidad Osmótica, mOsm/kg												
Juveniles	100.00	224.19	206.18	242.20	242.00	26.00	417.00	147.50	295.00	391.00	147.50	90.75
Adultos	159.00	-151.89	-162.52	-141.25	-175.00	-252.00	68.00	-200.00	-118.00	82.00	67.90	5.39
Oxi Hc, mmol/l												
Juveniles	102.00	1.28	1.21	1.36	1.30	0.31	1.96	1.07	1.53	1.65	0.46	0.39
Machos	100.00	1.69	1.61	1.77	1.76	0.70	2.92	1.43	1.92	0.49	0.38	0.04
Hembras	60.00	1.53	1.44	1.61	1.52	0.65	2.16	1.30	1.82	1.51	0.33	0.04
Glucosa, mg/ml												
Juveniles Adultos	248.00	0.20	0.19	0.22	0.19	0.04	0.70	0.14	0.26	0.13	0.10	0.01

(Continúa)

CUADRO 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PESO VIVO Y DE LOS PARÁMETROS DE LA HEMOLINFA Y DE LA GLÁNDULA DIGESTIVA DE JUVENILES, Y ADULTOS DE *L. SETIFERUS*

	N	CONFIANZA		+95.000%	MEDIANA	INFERIOR SUPERIOR		QUARTIL		RANGO	DESV. EST.	E. S.
		PROMEDIO	-95.000%			MIN	MAX	QUARTIL	QUARTIL			
Colesterol, mg/ml												
Juveniles Adultos	248.00	0.37	0.34	0.40	0.32	0.06	1.20	0.14	0.58	0.44	0.24	0.02
Triacil gliceroles, mg/ml												
Juveniles Adultos	247.00	0.44	0.40	0.48	0.39	0.06	2.20	0.21	0.60	0.40	0.32	0.02
Proteínas, mg/ml												
Juveniles- Machos	186.00	282.19	266.01	298.36	273.31	30.52	606.00	202.56	359.70	157.14	111.80	8.20
Hembras	58.00	320.92	295.52	346.33	332.52	122.32	538.79	244.83	386.72	141.89	96.62	12.69
Glucogeno, mg/ml												
Juveniles	82.00	3.10	2.56	3.64	2.64	0.00	20.42	1.69	3.76	20.42	2.07	6.13
Adultos	136.00	2.05	1.77	2.32	1.58	0.08	6.49	0.79	3.13	2.33	1.61	0.14
Lactato, mg/ml												
Juveniles	44.00	0.11	0.10	0.12	0.12	0.06	0.23	0.08	0.13	0.16	0.04	0.00
Machos	57.00	0.19	0.12	0.25	0.09	0.02	1.62	0.05	0.23	1.60	0.17	0.07
Hembras	59.00	0.04	0.03	0.04	0.04	0.00	0.10	0.02	0.05	0.10	0.02	0.00

CUADRO 2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA RESPUESTA IMMUNE DE JUVENILES, MACHOS ADULTOS MALES HEMBRAS DE *L. SETIFERUS*.

N	PROMEDIO	CONFID. CONFID.		INFERIOR SUPERIOR			QUARTIL		RANGO	DESV EST..	E.S.	
		-95.000%	+95.000%	MEDIANA	MIN.	MAX.	QUARTIL	QUARTIL				
ProFO, DO 490nm												
Juveniles-Machos	143.00	0.20	0.16	0.25	0.09	0.01	1.62	0.04	0.24	0.20	0.28	0.02
Hembras	45.00	0.39	0.23	0.55	0.11	0.00	1.89	0.06	0.40	1.89	0.53	0.08
FO, 490nm												
Juveniles	86.00	0.06	0.05	0.08	0.06	0.00	0.46	0.03	0.07	0.46	0.04	0.00
Adultos	102.00	0.12	0.10	0.14	0.10	0.03	1.01	0.08	0.12	0.04	0.11	0.01
Células Granulares, cell/ml x 10³												
Juveniles	74.00	6.80	6.17	7.44	6.80	1.20	13.80	4.80	8.60	12.60	3.80	0.44
Machos	55.00	13.31	11.68	14.93	12.00	5.80	26.60	7.80	18.20	10.40	6.00	1.48
Hembras	30.00	9.85	7.87	11.84	8.90	2.60	24.20	6.20	12.20	21.60	5.31	0.97
Células Hialinas, cell/ml x 10³												
Juveniles-hembras	104.00	13.87	12.50	15.25	13.20	0.80	35.40	9.00	17.90	8.90	7.08	0.69
Machos	40.00	18.50	15.55	21.45	16.20	8.00	48.80	12.20	21.60	9.40	9.21	1.46
Células Totales, cell/ml x 10³												
Juveniles	74.00	20.07	17.86	22.27	18.60	2.00	46.40	14.00	25.40	44.40	11.40	1.32
Machos	55.00	31.63	27.89	35.36	27.40	14.60	75.40	21.80	37.60	15.80	13.80	1.86
Hembras	30.00	25.42	21.82	29.02	25.10	5.40	44.00	18.60	29.60	38.60	9.65	1.76

(Continúa)

CUADRO 2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA RESPUESTA IMMUNE DE JUVENILES, MACHOS ADULTOS MALES HEMBRAS DE *L. SETIFERUS*.

N	PROMEDIO	CONFID. CONFID.		INFERIOR SUPERIOR			QUARTIL		RANGO	DESV EST..	E.S.		
		-95.000%	+95.000%	MEDIANA	MIN.	MAX.	QUARTIL	QUARTIL					
Estallido Respiratorio basal													
	Juvenile-Machos	37.00	0.15	0.13	0.17	0.14	0.08	0.28	0.11	0.17	0.06	0.06	0.01
	Hembras	15.00	0.21	0.18	0.25	0.20	0.13	0.37	0.17	0.23	0.23	0.06	0.02
Estallido Respiratorio Activado													
	Juvenile-Machos	37.00	0.22	0.19	0.25	0.20	0.10	0.43	0.16	0.28	0.12	0.09	0.02
	Hembras	15.00	0.32	0.27	0.38	0.35	0.15	0.50	0.26	0.38	0.35	0.09	0.02

es mayor del 90% indicando que los procesos de absorción y transporte son muy rápidos en los camarones. Este comportamiento podría estar asociado con la limitada capacidad que tienen los animales de sintetizar los ácidos grasos poliinsaturados, obligándolos a transportarlos rápidamente a los sitios donde serán almacenados o utilizados (D'Abramo 1997, González-Félix *et al.* 2003a, González-Félix *et al.* 2003b). Esta característica puede ser aprovechada para monitorear el estado nutricional, ya que variaciones pequeñas en la abundancia de alimento para las poblaciones silvestres se verá inmediatamente reflejado en los niveles de triglicéridos y colesterol en la sangre de los camarones, permitiendo así hacer diagnósticos oportunos sobre los impactos ambientales provocados por actividades antropogénicas.

Igual ocurre con la respuesta inmune. La concentración de ProFO puede incrementarse o disminuir dramáticamente durante una infección o durante la aplicación de estrés (López *et al.* 2003, Pascual *et al.* 2003b, Sánchez *et al.* 2001). De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 2 es evidente que la población de *L. setiferus* muestra baja actividad inmunológica la cual pudiera ser consecuencia de la ausencia de presiones ambientales sanitarias importantes. Aunque esta característica pudiera ser considerada como un indicador de buen estado de salud, es evidente que a la fecha el sistema inmune por sí sólo no puede dar referencia de la interacción entre los posibles efectos de los contaminantes y la calidad reproductiva, tal y como se mencionó anteriormente. La presencia de contaminantes, la presencia de organismos patógenos y las variaciones de la respuesta inmune tendrán que ser correlacionados antes de poder utilizar a una de ellas solamente como herramienta de diagnóstico del estado de salud poblacional.

Es interesante el hecho de que los parámetros sanguíneos cambian con el peso de los organismos y dan cuenta de cómo el uso y procesamiento de los nutrientes cambia con la edad. Este cambio lleva implícito el cambio de hábitat entre las lagunas costeras (juveniles) y el mar abierto en los adultos (cuadro 3), por lo que estos cambios también pueden ser interpretados en el sentido de las adaptaciones fisiológicas que cada etapa del ciclo de vida ha desarrollado de acuerdo con el ambiente en el que habita. La OxiHc y las proteínas totales en la sangre de *L. setiferus* aumentaron con el peso indicando que las proteínas pudieran ser utilizadas de manera distinta dependiendo de las exigencias ambientales que tiene cada grupo de edad. Está bien documentado que los juveniles de *L. setiferus* están sujetos a cambios bruscos de la salinidad en las lagunas costeras en las que habitan, en donde además están expuestos a variaciones diarias de temperatura o del oxígeno disuelto (Rosas *et al.* 1997,

Rosas *et al.* 1998). En tales circunstancias los juveniles tienen la necesidad de ajustar la presión osmótica como consecuencia de encontrarse en un ambiente más diluido (Claybrook 1983, Gerard y Gilles 1972). En el proceso de ajuste fisiológico en baja salinidad, los camarones utilizarán el pool de amino ácidos libres como una forma de reducir el aumento en volumen celular provocado por la entrada de agua, reduciendo la concentración general de proteínas disueltas en la hemolinfa (Rosas *et al.* 2001a). En contraste, los camarones adultos al no requerir de las proteínas para los ajustes osmóticos tenderán a acumularlas en la sangre, mostrando concentraciones más elevadas que las que son registradas en los juveniles.

El sistema estuarino ofrece protección y alimento a las poblaciones de juveniles. Por esta razón el sistema estuarino ha sido clasificado como zona de crianza para muchas especies de crustáceos. se observó una relación negativa entre colesterol, lactato y glucógeno de la glándula digestiva con el peso corporal (cuadro 3), indicando que los juveniles que habitan en los estuarios acumulan reservas en la sangre, tal vez como consecuencia de una

CUADRO 3. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL PESO CORPORAL Y LOS PARÁMETROS DE LA HEMOLINFA DE JUVENILES Y ADULTOS DE *L. SETIFERUS* COLECTADOS TANTO EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS COMO EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL ADYACENTE

	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	P
OxiHc: peso vivo	14664.38	1.00	14664.38	87.90	0.00
Glucosa: peso vivo	114.56	1.00	114.56	0.50	0.48
Colesterol: peso vivo	1852.46	1.00	1852.46	8.36	0.00
TGA: peso vivo	422.16	1.00	422.16	1.84	0.18
Proteinas: peso vivo	1968.92	1.00	1968.92	8.80	0.00
Glucogeno: peso vivo	4548.74	1.00	4548.74	23.39	0.00
Lactato: peso vivo	6049.32	1.00	6049.32	39.07	0.00
ProFO: peso vivo	34.17	1.00	34.17	0.13	0.72
FO: peso vivo	3173.25	1.00	3173.25	12.74	0.00
Células Granulares: peso vivo	6231.16	1.00	6231.16	27.46	0.00
Células Hialinas: peso vivo	2335.41	1.00	2335.41	8.63	0.00
Células Totales: peso vivo	4363.43	1.00	4363.43	18.26	0.00
ERB: peso vivo	1157.30	1.00	1157.30	6.24	0.02
ERA: peso vivo	1207.76	1.00	1207.76	6.55	0.01

mayor tasa de ingestión. El colesterol es la base de la construcción de las membranas y participa en la síntesis de colágena y es el precursor de la hormona de la ecdisona (hormona de la muda). Al mismo tiempo, el lactato participa en el metabolismo de los carbohidratos promoviendo la formación de glucógeno, el cual es el elemento básico para la formación de la N-acetil-glucosamina, principal sillar para la síntesis de la quitina. Si estas dos moléculas son más abundantes en la sangre de los juveniles, es precisamente debido a que en esta etapa los organismos requieran de una mayor movilización de éstas para el crecimiento (Ceccaldi 1998, Teshima 1998).

El Golfo de México tiene una tremenda importancia ecológica debido a la diversidad biológica que contiene. Al mismo tiempo, la industria petrolera, la industria pesquera y la industria de la transportación marítima se encuentran todas en crecimiento, incrementando las presiones en el ecosistema marino y costero (Ridgway y Shimmieldb 2002). Los resultados presentados ahora como producto de los últimos diez años de investigaciones, sirven como base para entender cómo las fuerzas ambientales están ejerciendo una presión importante sobre una de las poblaciones valiosas del sur del Golfo de México, como el camarón blanco *L. setiferus*. Tomando en cuenta esa información y los intervalos biológicos de los parámetros sanguíneos ahora mostrados, es posible también proponer a *L. setiferus* como una especie centinela, no controversial, así como un modelo de bajo costo para evaluar los cambios potenciales que las actividades humanas pudieran ejercer en este importante ecosistema. Estos resultados ponen a la disposición de la comunidad científica interesada y de los planificadores ambientales los indicadores de estado nutricional y de la respuesta inmune de juveniles y adultos, los cuales pueden ser auxiliares en el estudio de los cambios de la calidad nutricional del ambiente marino o de la presencia de problemas de salud poblacional, e incluso de la integridad del ecosistema bentónico de esta región.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el acuerdo bilateral UC-MEXUS-CONACYT dado a C.R. y E.L.C. Así mismo este estudio fue parcialmente apoyado por el CONACYT (proyecto -2002-C01-40987) y la DGAPA-UNAM (201102). Se agradece a Tomas Jesús García por el apoyo en las capturas de los organismos utilizados en el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adachi, K., Hirata, T., Nishioka, T., Sakaguchi, M. 2003. Hemocyte components in crustaceans convert hemocyanin into a phenoloxidase-like enzyme. *Comp. Biochem. Physiol.* 134B, 135-141.
- Adiyodi, G.R. 1985. Reproduction and its control. En: *The biology of crustacea: Integumentes, pigments and hormonal processes*. Academic Press, NY. Pp. 39-63.
- Alcaraz, G., Espinoza, V., Vanegas, C., Carrara, X.C. 1999. Acute Effect of Ammonia and Nitrite on Respiration of *Penaeus setiferus* Postlarvae under Different Oxygen Levels. *Journal of the World Aquaculture Society* 30: 98-106.
- Alfaro, J., Lozano, X. 1993. Development and deterioration of spermatophores in pond-reared *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 24: 522-529.
- Ashida, M., Söderhäll, K. 1984. The prophenoloxidase activating system in crayfish. *Comp. Biochem. Physiol.* 77B, 21-26.
- Balcom, B. 1994. Dispersed Oil Toxicity Tests with Species Indigenous to the Gulf of Mexico. Rep MMS: 14-35-0001-30617, 1-8, Minerals Management Service.
- Benítez, J.A., Bárcenas, C. 1996. Sistemas fluvio-lagunares de la Laguna de Términos: Hábitats críticos susceptibles a los efectos adversos de los Plaguicidas. In: Botello, A.V., Rojas-Galavis, J.L., Zarate-Lomeli, D. (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. Pp. 187-201.
- Botello, A.V., Ponce, V.G., Macko, S.A. 1996. Niveles de concentración de hidrocarburos en el Golfo de México. In: Botello, A.V., Rojas-Galavis, J.L., Benítez, J.A., Zarate-Lomeli, D. (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Camp. Pp. 225-253.
- Bray, W.A., Chamberlain, G., Lawrence, A. 1982. Increased larval production of *Penaeus setiferus* by artificial insemination during sourcing cruises. *Journal of the World Aquaculture Society* 13: 123-183.
- Bray, W.A., Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L., Robertson, S.M. 1985. Preliminary investigation of the effects of the temperature, bacterial inoculation and EDTA on the sperm quality in captive *Penaeus setiferus*. *J. World Maric.* 160: 250-257.
- Browdy, C.L., Stokes, A.D., Hopkins, J.S., Sandifer, P.A. 1991. Evaluation of intensive pond mono- and polyculture of *Penaeus setiferus* and *P. vannamei* in South Carolina. *Journal of the World Aquaculture Society* 22: 16-26.
- Brown, A.Jr., Macvey, J., Middleditch, B.S., Lawrencw, A.L. 1979. Maturation of white shrimp (*Penaeus setiferus*) in captivity. *World Maricul. Soc.* 10: 435-444.
- Ceccaldi, H.J. 1998. A synopsis of morphology and physiology of digestive system of

- some crustacean species studied in France. *Reviews in Fisheries Science* 6: 13-19.
- Chamberlain, G., Jonhson, S., Lewis, D. 1983. Swelling and melanization of the male reproductive system of captive adult peneid shrimp. *J. World Maricul.* 14: 135-136.
- Chen, J.C., Cheng, S.-Y. 1993a. Hemolymph PCO₂, hemocyanin, protein level and urea excretions of *Penaeus monodon* exposed to ambient ammonia. *Aquatic Toxicology* 27: 281-292.
- Chen, J.C., Cheng, S.-Y. 1993b. Studies on hemocyanin and hemolymph protein levels of *Penaeus japonicus* based on sex, size and moultin cicle. *Comp. Biochem. Physiol.* 106B: 293-296.
- Chow, S., Browdy, C.L., Sandifer, P.A. 1993. Timing of ovulation in the Atlantic white shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana* 64: 242-248.
- Chow, S., Dougherty, M.M., Dougherty, W.Y., Sandifer, P.A. 1991. Spermatophere formation in the white shrimp *Penaeus setiferus* and *P. vannamei*. *J. Crust. Biol.* 11: 201-216.
- Claybrook, D.L. 1983. Nitrogen metabolism. En: Mantel, L. H. y D. E. Bliss (ed.). *The Biology of Crustacea, Internal anatomy and physiological regulation*. Vol. 5, Academic Press, New York. Pp. 163-213.
- Cooper, E.L. 1997. Ecotoxicology: Compromising immunodefense of aquatic and terrestrial species. En: *Proceedings. Symposium on Ecotoxicology: Responses, Biomarkers and Risk Assessment*. SOS Publications, Fairhaven NJ.,
- D'Abramo, L.R. 1997. Triacylglycerols and fatty acids. En: D'Abramo, L., Concklin, D.E., Akiyama, D.M. (eds.), *Crustacean Nutrition*, 6. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana. Pp. 71-84.
- Destoumieux, D., Saulnier, D., Garnier, J., Jouffrey, C., Bulet, P., Bachere, E. 2001. Antifungal peptides are generated from the C terminus of shrimp hemocyanin in response to microbial challenge. *The Journal of Biological Chemistry* 276: 47070-47077.
- Dougherty, W.J., Dougherty, M.M. 1989. Electron microscopical and histochemical observations on melanized sperm spermatophores of the pond-cultured shrimp, *Penaeus vannamei*. *J. Inver. Phatol.* 54: 331-343.
- Dougherty, W.J.D., M.M.a.H.S.G. 1998. Electron microscopic observations on melanized spermatophores of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 115: 23-32
- Fielder, D. R., Rao, K. R., y Fingerman, M. A. 1971 female-limited lipoprotein and diversity of hemocyanin components in the dimorphic variants of the fiddler crab, *Uca pugilator*. *Com. Biochem. Physiol.* 39B: 291-297.
- Gellisen, G., Hennecke, R., Spindler, K.D. 1991. The site of synthesis of hemocyanin in the crafish *Astacus leptodactylus*. *Experientia* 47: 194-195.
- Gerard, J.F., Gilles, R. 1972. The free amino-acid pool in *Callinectes sapidus* (Rathbun) tissues and its role in the osmotic intracelular regulation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 10:

125-136.

- Gold-Bouchot, G., Herrera-Rodríguez 1996. Efectos de los hidrocarburos sobre la comunidad de nemátodos bénticos de la Sonda de Campeche. In: Rojas-Galavis, J.L., Benitez, J.A., Zarate-Lomeli, D. (eds.), *Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental: diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Camp. México. Pp. 279-296.
- González-Félix, M.L., Gatlin III, D.M., Lawrence, A., Pérez-Velázquez, M. 2003a. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: II effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated fatty acids on juvenil shrimp growth, survival and fatty acid composition. *Aquaculture Nutrition* 9: 155-122.
- González-Félix, M.L., Lawrence, A., Gatlin III, D.M., Pérez-Velázquez, M. 2003b. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: I. effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios on juveniles shrimp growth, survival and fatty acid composition. *Aquaculture Nutrition* 9: 105-113.
- Hall, M., Wang, R., Van Antwerpen, R., Sottrup-Jensen, L., Söderhall, K. 1999. The crayfish plasma clotting protein: a vitellogenin-related protein responsible for clot formation in crustacean blood. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 1965-1970.
- Hanke, W.A.H.B.A.G.O.G.a.S.R. 1993. Mechanisms of hormonal actions on osmotic adaptation in fish: A review. In: Braunbeck, T.W.H.a.H.S. (ed.), *Fish: ecotoxycology and ecophysiology*, VCH, New York. Pp. 315-326.
- King, J.E. 1948. A study of the reproductive organs of the common marine shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767). *Biol. Bull.* 94: 244-262.
- Krebs, C.J. 1998. *Ecological methodology*. Addison Wesley Longman, Inc, Menlo Park, CA.
- Krol, R.M., Hawkins, W.E., Overstreet, R.M. 1992. *Reproductive components*. In: *Microscopy anatomy of invertebrates*. Academic Press, NY. Pp. 1-122.
- Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L. 1987. Observations on the decline in sperm quality of *Penaeus setiferus* under laboratory conditions. *Aquaculture* 65: 363-370.
- Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L. 1991. Spermatophore generation times en *Penaeus setiferus*, *P. vannamei* and *P. stylirostris*. *J. World Aquaculture Soc.* 22: 244—251.
- López, N., Cuzon, G., Gaxiola, G., Taboada, G., Valenzuela, M., Pascual, C., Sánchez, A., Rosas, C. 2003. Physiological, nutritional and immunological role of dietary α 1-3 glucan and ascorbic acid 2-monophosphate in *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture* 224: 223-243.
- Martinez, E., Aguilar, M., Trejo, L., Hernández, I., Díaz-Iglesia, E., Soto, L.A., Sánchez, A., Rosas, C. 1998. Lethal low dissolved oxygen concentrations for postlarvae and early juvenile *Penaeus setiferus* at different salinities and pH. *Journal of the World*

- Aquaculture Society* 29: 221-229.
- McMahon, B.R. 1988. Physiological responses to oxygen depletion in intertidal animals. *Am. Zool.* 28: 39-53.
- Misamore, M.J., Browdy, C.L. 1996. Mating behavior in the white shrimps *Penaeus setiferus* and *P. vannamei*: A generalized model for mating in *Penaeus* spp. *J. Crust. Biol.* 16: 61-70.
- Montaño-Pérez, K., Yepiz-Plascencia, G., Higuera-Ciapara, I., Vargas-Albores, F. 1999. Purification and characterization of the clotting protein from the white shrimp *Penaeus vannamei*. *Comp. Biochem. Physiol.* 122: 381-387.
- Muncy, R.J. 1984. *Species profiles life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (South Atlantic)*. US Wildlife Office, Publication No. J1323491: 1-25.
- Muñoz, M., Cedeno, R., Rodriguez, J., van der Knaap, W. P. W., y Mialhe, E. 2000. Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, vol 89-107: 20.
- Núñez-García, R.M. 2002. Efecto letal y subletal de un fluido de perforación polimérico en postlarvas y juveniles de *Litopenaeus setiferus* (crustacea; decapoda). Tesis de Maestría en Ciencias (Biología Marina), posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Pp. 1-78.
- Palacios, E. 2000. Tissue biochemical composition in relation to multiple spawning in wild and pond-reared *Penaeus vannamei* broodstock. *Aquaculture*, vol. 185: 353-371.
- Palacios, E. Pérez-rostro, C.I., Ramirez, J.L., Ibarra, A.M., Racotta, I.S. 1999. Reproductive exhaustion in shrimp (*Penaeus vannamei*) reflected in larval biochemical composition, survival and growth. *Aquaculture* 171: 309-321.
- Pascual, C., Gaxiola, G., Rosas, C. 2003a. Blood metabolites and hemocyanin of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*: the effect of culture conditions and a comparison with other crustacean species. *Marine Biology* 142: 735-745.
- Pascual, C., Sánchez, A., Sánchez, A., Vargas-Albores, F., LeMoullac, G., Rosas, C. 2003b. Haemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of an extreme temperature. *Aquaculture* 218: 637-650.
- Pascual, C., Valera, E., Re-Regis, C., Gaxiola, G., Sánchez, A., Ramos, L., Soto, L.A., Rosas, C., 1998. Effect of temperature on reproductive tract condition of *Penaeus setiferus* adult males. *World Aquaculture Society* 29: 477-484.
- Pérez, L., Ramos, L. 1992. Determinación de la proporción de machos del camarón blanco *Penaeus schmitti* en tanques de maduración inducida para el incremento de la cópula natural. *Rev. Inv. Mar.* 13: 137-176.
- Primavera, J.H., 1985. A review of maturation and reproduction in closed thelycum penaeids. En: Y.Taki, J.H.Primavera, Llobrera, J.A. (eds.). Proceedings of the First International Conference of the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps. Iloilo City,

- Philippines. Pp. 47-64.
- Renaud, M.L. 1986. Detecting and avoiding oxygen deficient sea water by brown shrimp *Penaeus aztecus* (Ives) and white shrimp *P. setiferus* (Linnaeus). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 98: 283-292.
- Ridgwaya, J., Shimmieldb, G. 2002. Estuaries as Repositories of Historical Contamination and their Impact on Shelf Seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55: 903-928.
- Ro, S., Talbot, P., Leung-Trujillo, J., Lawrence, A.L. 1990. Structure and fuction of the vas deferents in the shrimp *Penaeus setiferus*: segmentos 1-3. *Crust. Biol.* 10: 455-468.
- Rosas, C., Sánchez, A., Escobar, E., Soto, L., Bolongaro-Crevenna, A. 1992. Daily variations of oxygen consumption and glucose hmolymph level related to morfophysiological and ecological adaptations of crustacea. *Comp. Biochem. Physiol.* 101A: 323-328.
- Rosas, C., Sánchez, A., Chimal, M.E., Saldaña, G., Ramos L., y Soto, L.A. 1993. The effect of electrical stimulation on spermatophore regeneration in white shrimp *Penaeus setiferus*. *Aquatic Living Resources* 8: 139-144.
- Rosas, C., Sánchez, A., Diaz-Iglesia, E., Brito, R., Martinez, E., Soto, L.A. 1997. Critical dissolved oxygen level to *Penaeus setiferus* and *Penaeus schmitti* postlarvae (PL sub(10-18)) exposed to salinity changes. *Aquaculture* 152: 259-272.
- Rosas, C., Martínez, E., Gaxiola G., Díaz, E., Brito, R., Soto, L. 1998. Effect of dissolved oxygen on the energy balance and survival of *Penaeus setiferus* juveniles. *Mar Ecol Prog Ser* 174: 67-75.
- Rosas, C., Martínez, E., Gaxiola, G., Brito, R., Sánchez, A., Soto, L.A. 1999. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 234: 41-57.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., LePriol, Y., Pascual, C., Rossignol, J., Contreras, F., Sánchez, A., Van Wormhoudt, A. 2001a. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 259: 1-22.
- Rosas, C., Cuzon, G., Taboada, G., Pascual, C., Gaxiola G., Van Wormhoudt, A. 2001b. Effect of dietary protein and energy levels (P/E) on growth, oxygen consumption, hemolymph and digestive gland carbohydrates, nitrogen excretion and osmotic pressure of *Litopenaeus vannamei* and *L. setiferus* juveniles (Crustacea, Decapoda ; Penaeidae). *Aquaculture Research* 32: 1-20.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G., Arena, L., VanWormhoudt, A. 2002. An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experi-*

- mental Marine Biology and Ecology* 268: 47-67.
- Sánchez, A., Pascual, C., Sánchez A., Vargas-Albores, F., LeMoullac, G., Rosas, C. 2001. Hemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of acclimation. *Aquaculture* 198: 13-28.
- 2002. Acclimation of adult males of *Litopenaeus setiferus* exposed at 27°C and 31°C: Bioenergetic balance. In: Escobar-Briones, E.G., Alvarez, F. (eds.), *Modern Approaches to the study of crustacea*, Kluwer Academic Press, New York. Pp. 45-52.
- Schmidt-Nielsen, K. 1990. *Animal Physiology: Adaptation and environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sritunyalucksana, K., Söderhall, K. 2000. The proPO and clotting system in crustaceans. *Aquaculture* 191: 53-69.
- Talbot, P., Howard, D., Leung-Trujillo, J., Lee, T.W., Li, W.Y., Ro, H., Lawrencw, A.L. 1989. Characterization of the males reproductive tract degenerative syndrome in captive penaeid shrimp (*Penaeus setiferus*). *Aquaculture* 78: 365-377.
- Teshima, S.i. 1998. Nutrition of *Penaeus japonicus*. *Reviews in Fisheries Science* 6: 97-111.
- Vargas-Albores, F., Yepiz-Plascencia, G. 2000. Beta glucan binding protein and its role in shrimp immune response. *Aquaculture* 191: 13-21.
- Vernberg, J.L. 1983. Respiratory adaptations. En: Vernberg, J.L., Vernberg, W. (eds.), *The biology of crustacean* 8. Academic Press, Inc. Pp. 147-215.
- Williams, A.B. 1984. *Shrimp, lobsters and crabs of the Atlantic coast of the Eastern US Maine to Florida*. Smithsonian Institution Press.
- Yano, I., Kanna, R.A., Oyama, R.N., Wybay, J.A. 1988. Mating behavior in the penaeid shrimp *Penaeus vannamei*. *Mar. Biol.* 97.
- Zein-Eldin, Z.P.a. R.M.L. 1986. Inshore Environmental Effects on Brown Shrimp *Penaeus aztecus* and White Shrimp *P. setiferus* Populations in Coastal Waters, Particularly of Texas. *Marine Fisheries Review* 48: 9-19.

EUTROFIZACIÓN COSTERA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

*Jorge A. Herrera-Silveira, Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli
Ghinaglia, Francisco A. Comín y Chris Madden*

INTRODUCCIÓN

Resulta ampliamente reconocido que los países que no pueden planificar su estrategia de desarrollo económico en armonía con la conservación de los recursos naturales y su manejo, quizá no pueden sustentar ninguna clase de progreso en las áreas de salud, alimentación, vivienda, energía y otras necesidades críticas. Bajo este contexto, México se encuentra ante un gran reto en virtud de su riqueza de recursos naturales y de las necesidades económicas y sociales de sus habitantes.

Para ello, se debe desarrollar una estrategia económica, social y ambientalmente compatible que tenga como meta ofrecer una mejor calidad de vida a la población humana. Bajo esta premisa el investigador y el experto en manejo deben enfrentar complejas opciones de investigación, uso y administración de los recursos naturales, de los ecosistemas terrestres y acuáticos con los que cuenta el país.

Entre los sistemas que integran ambientes terrestres y acuáticos destaca de manera particular la zona costera, la cual puede definirse como un área donde tienen lugar interacciones entre procesos marinos, atmosféricos, terrestres, fluviales, subterráneos y antrópicos, lo cual le ha conferido no sólo riqueza de paisaje, sino que también estos procesos son responsables de que haya una alta diversidad y productividad biológica, haciendo

de la zonacostera un sitio atractivo para nuevos asentamientos humanos y desarrollo de actividades económicas.

México es de los países en los que la proporción de territorio terrestre y marítimo se inclina claramente hacia el mar, ofreciendo una serie de oportunidades de desarrollo, pero también imponiéndole una serie de retos en función de que cualquiera que sea el uso de sus recursos marinos, éste sea ambientalmente amigable. Desafortunadamente ésto no ha sucedido así, y ya es posible encontrar casos en los que pesquerías, playas, estuarios, lagunas costeras, zonas de manglar, y fauna silvestre, entre otros recursos, han sufrido severos daños (Merino *et al.* 1992, Rivera-Arriaga y Villalobos 2001, Euan-Avila y Witter 2002).

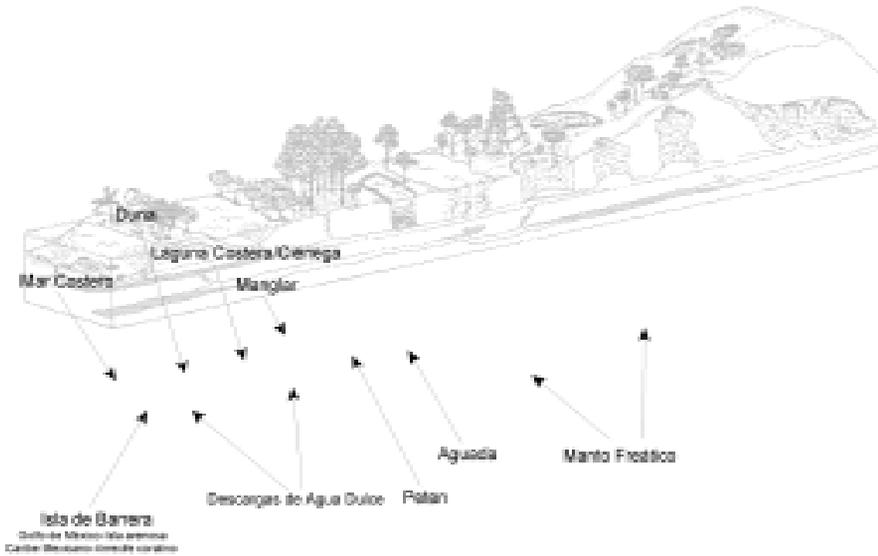
Esta tendencia al deterioro ambiental no es exclusiva de México, por lo que se está tratando de revertir teniendo como marco de referencia los conceptos generales del manejo integral de la zona costera con un enfoque de desarrollo de largo plazo, en el que a través de una serie de herramientas de captura, análisis e integración de información económica, social y ambiental se puedan ofrecer lineamientos que orienten el desarrollo sustentable de las costas mexicanas (figura 1).

Cualquiera que sea la estrategia de desarrollo, ésta debe contemplar acciones que permitan dar seguimiento a las consecuencias en el medio ambiente costero producto de las actividades antrópicas, lo cual permitirá contar con programas que mitiguen o reviertan la causa del problema observado. Para ello, se debe seleccionar un indicador que aporte información no sólo sobre las consecuencias, sino también sobre el origen del problema, orientando actividades que conduzcan a la sustentabilidad de un recurso o ecosistema.

Entre las características e indicadores que han demostrado ser útiles para este propósito en las costas de otros países tanto desarrollados como en vías de lograrlo, han sido los relativos a la eutrofización de los ecosistemas acuáticos costeros. Éste ha sido uno de los principales problemas que se han identificado y sobre los que mayor cantidad en recursos económicos se han destinado no sólo para entenderlo sino también para mitigarlo y solucionarlo (Urban *et al.* 1996)

El proceso de eutrofización consiste en el aumento de la producción de materia orgánica como resultado del incremento en la adición de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo. Este es un proceso natural que ha sido acelerado por las actividades humanas, nombrándosele eutrofización cultural, se le reconoce por una mayor acumulación de la materia orgánica

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MOSTRANDO LOS PRINCIPALES TIPOS DE ECOSISTEMAS CON ÉNFASIS EN LOS DE LA ZONA COSTERA



producida en forma de algas. Entre los síntomas del proceso de eutrofización cultural que se han utilizado como indicadores de éste problema destacan las concentraciones de Clorofila-a en la columna de agua, la frecuencia, cobertura espacial y toxicidad de los florecimientos de algas nocivas, la reducción de la cobertura de pastos marinos y la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua, entre otros (Bianchi *et al.* 1999, Howarth *et al.* 2002).

Las consecuencias de estos síntomas incluyen la pérdida del hábitat con cambios en la biodiversidad, impactos a pesquerías recreativas y comerciales, impactos a las actividades turísticas, e incluso a la salud humana y a la de los ecosistemas en general.

Si bien el proceso de eutrofización está bien documentado para ecosistemas de agua dulce desde hace más de 20 años, en ambientes costeros

es aún pobremente entendido, por lo que existen importantes programas de investigación y monitoreo para las costas de Estados Unidos de América y de la Comunidad Europea; en ambos casos éste proceso se ha incorporado como un elemento de diagnóstico ambiental de los ecosistemas costeros (Bricker *et al.* 1999, ICRAM 2000). En México se carece de este tipo programas y de diagnósticos bajo un contexto espacial de gran escala como lo es el Golfo de México.

Para evaluar el problema de eutrofización y considerarlo como un elemento de diagnóstico que a través de su monitoreo permita evaluar el éxito de las estrategias de manejo en los ecosistemas costeros del Golfo de México, es necesario desarrollar las bases científicas para asegurar la sustentabilidad de este gran ecosistema. Las bases que dan soporte al diagnóstico se fundamentan en la determinación de la variabilidad espacial y temporal de la eutrofización y las variables con las cuales se relaciona.

Para ello, la estrategia inicia con la investigación para determinar los indicadores y los valores de referencia de variables de la condición trófica de los ecosistemas costeros, siguiendo un esquema de variabilidad espacial y temporal a diferentes escalas. A través de ello se podrán proponer los programas de monitoreo *ad hoc*, que proporcionen elementos de decisión a los administradores y funcionarios relacionados con el manejo de los recursos naturales de los ecosistemas costeros.

Sin embargo, debido a las diferencias geológicas, de clima y geográficas entre otras de los ecosistemas costeros, las condiciones de referencia son diferentes de una región a otra. De forma similar, los cuerpos de agua como estuarios, zona marina costera, bahías y lagunas costeras, frecuentemente responden diferencialmente a los aportes de nutrientes que provienen de diferentes fuentes (ríos, escorrentía, descargas subterráneas, entre otros). Esto significa que los criterios deben ser diseñados de forma particular para cada tipo de cuerpo de agua y región donde ellos se encuentran.

En México, la normatividad es deficiente en considerar los riesgos a los ecosistemas acuáticos y a la salud que la eutrofización puede desencadenar. Esto se basa en que de acuerdo con la normatividad que aplica a los ambientes costeros en cuanto a valores de referencia para la vida acuática que se establece en los Criterios ecológicos de calidad del agua (CNA 2000), se asume que todos los cuerpos de agua costera (Costa de Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe) son similares, ya que no hace distinción entre ellos. Adicionalmente, en ésta misma norma, el proceso de eutrofización es subestimado como problema, ya que no incluye variables o indicadores de este proceso (Clorofila-a,

transparencia del agua, comunidad del fitoplancton, mareas rojas, vegetación acuática sumergida-VAS), y que se han reconocido como claves para el diagnóstico y monitoreo de este problema (EPA 1999).

ÁREA DE ESTUDIO

En el caso particular de la Península de Yucatán, el ambiente costero ha sido reconocido como el recurso natural más valioso, por lo que contar con indicadores para el diagnóstico y monitoreo del proceso de eutrofización de sus ecosistemas costeros cobra importancia desde la perspectiva del tipo de suelo (cárstico), descarga del acuífero (manantiales subterráneos y descargas no puntuales), dominancia de actividades agropecuarias, y desarrollo costero en el que la actividad turística es dominante (Capurro *et al.* 2002).

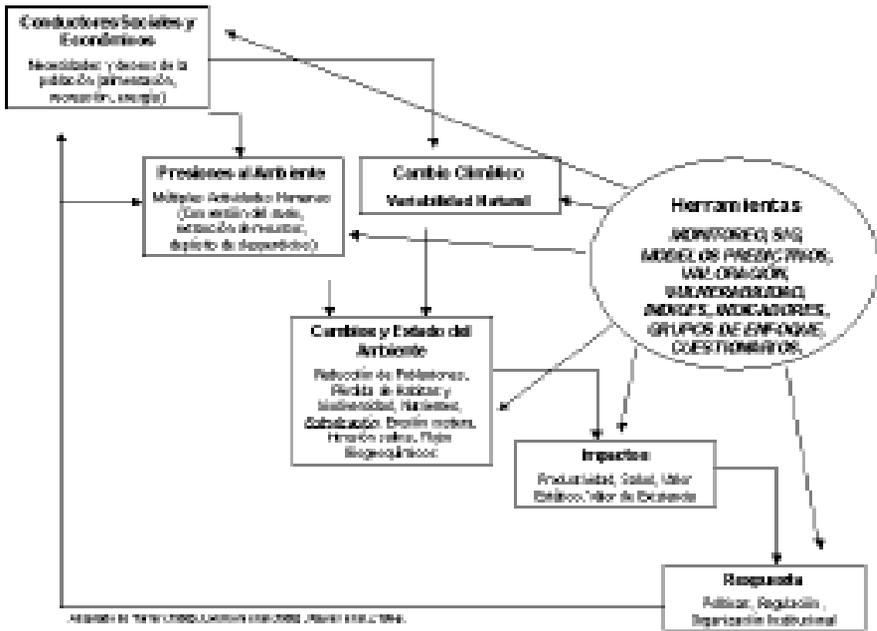
Es importante señalar que de los más de 4 millones de habitantes en la Península de Yucatán, el 90% vive a menos de 100 km de la costa, la tasa de natalidad es mayor (2.2%) al promedio nacional (1.7%), tiene una alta inmigración y se espera que se impulse oficialmente el desarrollo de la costa a través de actividades como el turismo, el transporte marítimo, el desarrollo portuario, la acuicultura y las pesquerías.

Por lo anterior, la población y los asentamientos humanos crecerán, y se seguirán dando cambios en el uso del suelo, continuarán los impactos en ecosistemas como manglares, lagunas costeras, playas, dunas, vegetación sumergida e incluso en los arrecifes de coral. Esto ocasionará problemas de salud, disminución del beneficio económico y descontento social si no se ponen en marcha estrategias de manejo costero que estén sustentadas en el diagnóstico y en indicadores que permitan identificar los problemas y dar seguimiento a las alternativas de solución.

Entre los aspectos ambientales que caracterizan a la Península de Yucatán, destaca que su cuenca hidrográfica presenta particularidades como una topografía muy homogénea, ausencia de ríos y suelos cársticos, lo que favorece la infiltración de agua proveniente de la precipitación hacia el acuífero, el cual descarga en los ecosistemas costeros a través de manantiales y fuentes no puntuales (figura 2), estimándose un aporte de 9-11 millones/m³/año/km de costa.

Esta característica es particularmente importante ya que así como el agua se infiltra rápida y fácilmente al acuífero, también lo hacen todo tipo de contaminantes. Si se considera que entre las actividades productivas dominantes de la zona están la industria turística, agropecuaria, salinera y la

FIGURA 2. MODELO CONCEPTUAL DE LAS INTERACCIONES ENTRE COMPONENTES DEL MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA



urbana, es fácil imaginar que los principales contaminantes son de tipo orgánico (nitrógeno y fósforo), si además se adiciona el hecho de que más del 90% de estas actividades no existen plantas de tratamiento de aguas residuales y en el otro 10% las que existen son deficientes, no es extraño que se observen ya algunos síntomas y consecuencias del proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, como la frecuencia de florecimientos algales nocivos, la disminución de la cobertura de pastos marinos, intoxicaciones por consumo de productos del mar, e incluso el cierre de playas a la actividad turística (Merino *et al.* 1992, Reyes y Merino 1991, Herrera-Silveira *et al.* 2002).

Es bajo este contexto que el CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, como parte de su Programa de Procesos y Manejo Costero, inició una línea de investiga-

ción sobre el análisis del proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de Yucatán, con miras a entender las causas y consecuencias de este proceso en un contexto de calidad del agua, y desarrollar indicadores y programas de monitoreo acordes con la problemática ambiental de la zona, que permita diagnosticar la condición actual y la vulnerabilidad de los diferentes ecosistemas costeros de la Península de Yucatán al proceso de eutrofización, así como dar soporte a las políticas de manejo del agua y por lo tanto medir el éxito de las acciones de conservación, rehabilitación/restauración o saneamiento.

Por lo anterior, este capítulo presenta resultados concernientes al diagnóstico de la calidad del agua de los ecosistemas costeros a través de indicadores del estado trófico de diferentes tipos de ecosistemas de la Península de Yucatán. De esta manera, se pretenden identificar las variables y procesos clave relacionados con la eutrofización y proveer el soporte técnico para la implementación de las políticas de manejo del agua costera.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

La aproximación metodológica ha tenido que considerar diferentes aspectos desde los geohidrológicos de la zona, hasta los de tipo e intensidad de actividades humanas en las costas. La zona de estudio incluye lagunas costeras, bahías y zona marina, denominada costa, en localidades desde Campeche hasta Chetumal, cubriendo un amplio espectro de tipos e intensidad de usos (cuadro 1, figura 3).

Las campañas de muestreo en todas las localidades consisten en al menos un ciclo anual con visitas mensuales, mientras que en otros, los resultados son de más de 10 años de monitoreo. En cada sitio se colectaron muestras en al menos 15 estaciones cubriendo áreas de 20 hasta 900 km². En los muestreos se han empleado tanto técnicas y equipo convencional como no convencional, en específico el uso de un equipo de mapeo sinóptico de variables hidrológicas conocido como "DataFlow IV" (Madden y Day 1992). Esto obedece a que en esta región del Golfo de México, donde las descargas de agua dulce a los ecosistemas costeros es predominantemente subterránea, la determinación de la heterogeneidad espacial es difícil de establecer, por lo que nuevas tecnologías tienen que ser utilizadas.

Las variables medidas han incluido características físicas y químicas del agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato) siguiendo las técnicas y recomendaciones de Parsons *et al.*

CUADRO 1. SE PRESENTAN LOS SITIOS EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN DONDE SE HA COLECTADO INFORMACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE CLOROFILA -A (V/F-Q-CLA), ASÍ COMO DE LAS COMUNIDADES DE FITOPLANCTON Y/O VEGETACIÓN ACUÁTICA SUMERGIDA (V/FT-VAS)

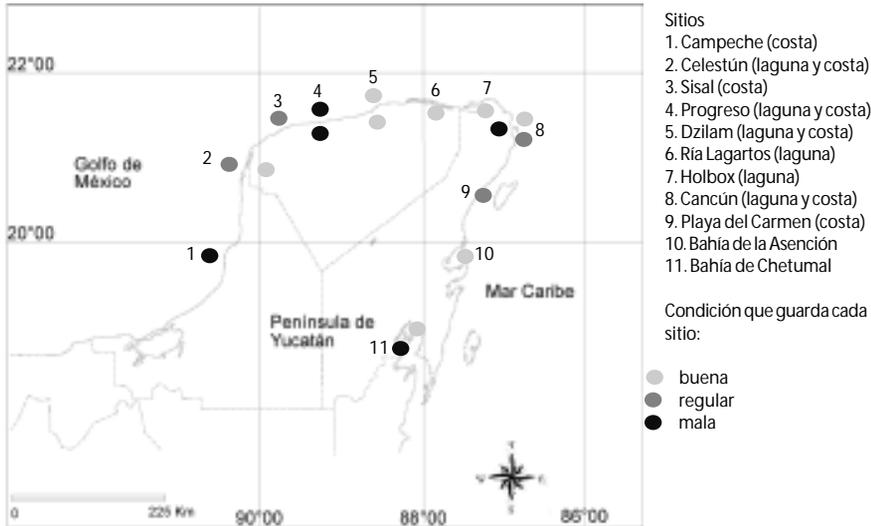
SITIO	SISTEMA Y REGIÓN	V/F-Q-CLAV/FT, VAS		INTENSIDAD DE USO			
				U	T	P	PT
Campeche	C/G	X		+	+	-	+
Celestún	LB/G	X	X	+/-	+/-	+	-
Laguna Celestún	LB/G	X	X	-	+/-	+	-
Sisal	C/G	X	X	+/-	-	+/-	+/-
Progreso	C/G	X	X	+	+	+	+
Laguna Chelem	LB/G	X	X	+	-	-	+
Dzilam	C/G	X	X	+	-	+	+
Bocas de Dzilam	LB/G	X	X	-	-	-	-
Río Lagartos	LB/G	X		+/-	+/-	+	+/-
Holbox	LB/G	X		+/-	+/-	+	+/-
Cancún	C/C	X	X	+	+	-	+
Nichupte/Bojorquez	LB/C	X		+	+	-	-
Isla Mujeres	C/C	X	X	+	+	+/-	+
Playa del Carmen	C/C	X		+	+	-	+
Bahía de la Ascensión	LB/C	X	X	-	-	+	-
Chetumal	LB/C	X		+	+/-	-	+/-

Se identifican los principales usos: Urbano (U), Turístico (T), Pesquero (P), Portuario (PT), así como su intensidad: bajo (-), intermedio (+/-), alto (+). Lagunas y Bahías del Golfo (LB/G), lagunas y bahías del Caribe (L/BC), costa del Golfo (CG), costa del Caribe (CC).

(1984); de la comunidad del fitoplancton (Clorofila-a, composición y densidad por grupos) aplicando las técnicas descritas en Jeffrey *et al.* (1997); y de pastos marinos y macroalgas (cobertura) de acuerdo con Fourqurean *et al.* (2002). Sin embargo, no todas las variables han sido medidas en todas las localidades (cuadro 1), quedando aún mucho por investigar y por lo tanto para implementar los programas de monitoreo *ad hoc*.

Para el análisis de la información de variables físicas, químicas y clorofila-a de la columna de agua, se agruparon los sitios en los sistemas: lagunas/bahías y costa, de las regiones del Golfo y Mar Caribe (cuadro 1, figura 3).

FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS SELECCIONADOS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE EUTROFIZACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, CON BASE EN VARIABLES, QUÍMICAS, DE FITOPLANCTON Y VEGETACIÓN ACUÁTICA SUMERGIDA



Esta división obedece a que se han identificado diferencias entre las aguas de estas dos grandes regiones así como entre ecosistemas semicerrados y abiertos (Troccoli 2001, Herrera-Silveira *et al.* 2002)

El análisis de la información consistió en determinar los valores e intervalos de referencia de variables físicas, químicas y clorofila-a de la columna de agua por región. Para ello se siguió la recomendación de EPA (2001), la cual se basa en calcular la mediana del conjunto de datos; ésta tiene en cuenta el orden de los datos más no su magnitud, por ello no es afectada por valores extremos. Como medida de su variabilidad y que a su vez establece los límites superior e inferior dentro de los cuales cualquier dato es considerado como normal, se calcularon los cuartiles inferior y superior.

Para determinar diferencias estadísticas de las variables analizadas entre las regiones se aplicó un análisis gráfico de cajas (figura 4). En estos gráficos se evalúa la existencia de diferencias entre grupos de medianas de una variable dependiente con base en un factor –las regiones–. La línea horizontal de cada

caja corresponde a la mediana y próxima a ésta la media (simbolizada por una cruz). La porción superior e inferior de cada caja representan el 25° y 75° percentiles (cuartiles-intervalo), mientras que los extremos de las barras son el 5° y 95° percentiles. La muesca lateral en las cajas corresponde al 95% del intervalo de confianza de la mediana, por ello, cuando las muescas entre dos cajas no se sobrelapan, se asume que las medianas son significativamente diferentes (Boyer *et al.* 1997).

En relación con el estado trófico de cada tipo de ecosistema y región, éste se obtuvo integrando la información de variables químicas, fitoplancton y VAS, según los datos que se tienen de cada sitio (cuadro 1), y siguiendo los criterios y recomendaciones de los trabajos realizados para el diagnóstico del estado de eutrofización de los estuarios de EE.UU. (Bricker *et al.* 1999) y de aguas costeras oligotróficas (Karydis *et al.* 1983).

DIAGNÓSTICO

Las medianas y valores intercuartiles que representan el valor de referencia y su intervalos de variación natural para cada tipo de ecosistema y región se pueden observar en el cuadro 2.

La temperatura es mayor en la costa del caribe (C/C) y menor en la del Golfo (C/G); sin embargo, es más variable en las lagunas y bahías del Golfo (L/BG). Se observan diferencias significativas entre regiones (figura 4a), siendo la del Caribe la que en general presenta mayores temperaturas.

La salinidad es mayor en la región C/G y menor en L/BG, aunque este grupo de ecosistemas presenta la mayor variabilidad tanto para salinidades bajas como altas. Los ecosistemas de C/C presentan una variabilidad muy baja. Las diferencias significativas se observan entre los ecosistemas del Golfo y Caribe (figura 4b).

En relación con el oxígeno disuelto los valores de referencia más altos se observan en los ecosistemas del Caribe, con mayor variabilidad en las concentraciones de los sistemas de L/BG. Las diferencias significativas en las concentraciones medianas se observan entre los sistemas del Golfo y Caribe (figura 4c).

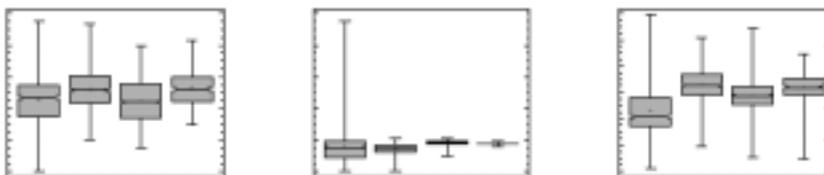
Por lo que respecta a los nutrimentos, la concentración de nitrito es mayor en la región C/G y menor en la C/C, siendo más variable en los ecosistemas de la región L/BG. Las diferencias significativas se observan entre la C/C y las demás regiones (figura 5a). La concentración mediana de nitrato es mayor en la región C/C y menor en la de C/G. Con mayor varia-

CUADRO 2. VALORES DE REFERENCIA (MEDIANA) E INTERVALO DE VARIABILIDAD (CUARTIL INFERIOR Y SUPERIOR) DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, Y CLOROFILA-A DE REGIONES COSTERAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (LB/G), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC).

REGIÓN VARIABLE	LB/G	LB/C	C/G	C/C
Temperatura °C	27.3 25-29	28.3 26.7-35.1	26.8 24.8-29.1	28.4 26.8-29.9
Salinidad	30.6 18.4-37.4	30.3 24.6-34	36.9 35.4-38.2	34.9 34.7-35.4
Oxígeno disuelto, mg/l	4.4 3.4-5.6	6.5 5.8-7.4	5.7 5-6.4	6.4 5.8-7
Nitrito µmol/l	0.39 0.16-1.04	0.47 0.26-0.86	0.57 0.23-0.97	0.21 0.05-0.42
Nitrato µmol/l	2.6 1.1-7	1.8 0.8-3.7	2.8 1.3-6	1.9 1-9.1
Amonio µmol/l	4.7 2.5-8.5	3.7 2-6.6	3.7 2.1-6.2	2.4 1.9-3.4
Fosfato µmol/l	0.5 0.15-1.1	0.7 0.36-1	0.4 0.3-0.8	0.6 0.4-0.9
Silicato µmol/l	62 23-118	18 10-35	7 4-12	4 3-8
Clorofila-a µg/l	3.8 2.2-6	0.59 0.34-1.1	2.3 1.2-5	0.35 0.25-0.5-

bilidad en los ecosistemas de L/BC (figura 5b). En relación con el amonio, la mayor concentración mediana se registro en los sistemas de L/BG, mientras que la menor lo fue en C/C. La mayor variabilidad se observó en la región C/G, registrándose diferencias significativas entre C/C y los demás tipos de

FIGURA 4. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS Y VARIABILIDAD DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y OXÍGENO DISUELTO ENTRE TIPOS DE ECOSISTEMAS DE REGIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (L/BG), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC)



ecosistemas (figura 5c). El fosfato presenta una mayor concentración de referencia y variabilidad en los ecosistemas de L/BC, observándose diferencias significativas entre las regiones del Golfo y el Caribe (figura 6a). Por último, en el caso de los silicatos, el mayor valor de referencia y variabilidad se registró en los sistemas de L/BG, mientras que la menor se obtuvo en los de C/C. Diferencias significativas se observan entre los tipos de sistemas (lagunas/bahías mayores que en costa) (figura 6b).

Por lo que respecta a las concentraciones de clorofila-a (Cl-a), los valores de referencia más altos se observaron en los ecosistemas del Golfo, al igual que la mayor variabilidad. Las diferencias significativas en las concentraciones de Cl-a son entre ecosistemas del Golfo y el Caribe (figura 6c).

En cuanto a otros indicadores de eutrofización como la comunidad de fitoplancton y VAS. El diagnóstico se concentra en cuatro localidades del norte de Yucatán (Celestún, Sisal, Progreso y Dzilam), en donde estas variables han sido medidas regularmente en años recientes.

Respecto al fitoplancton, en Celestún la comunidad es dominada por diatomeas, seguida por dinoflagelados y cianobacterias. Los cambios interanuales se reflejan en un aumento de las especies de dinoflagelados y cianobacterias (figura 7a). Por lo que respecta a Sisal, la abundancia relativa es dominada por el grupo de las diatomeas; sin embargo, se observan cambios interanuales en los que han aumentado los grupos; dinoflagelados y clorofitas (figura 7b). En el caso de Progreso, la comunidad está domina-

FIGURA 5. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS Y VARIABILIDAD DE NITRITO, NITRATO Y AMONIO ENTRE TIPOS DE ECOSISTEMAS DE REGIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (L/BG), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC).

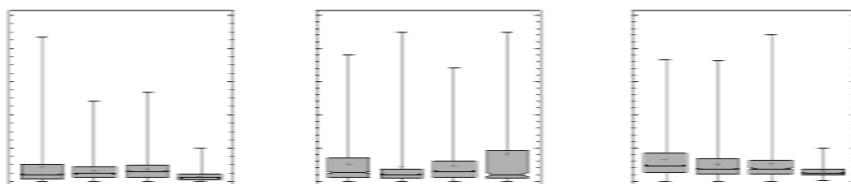
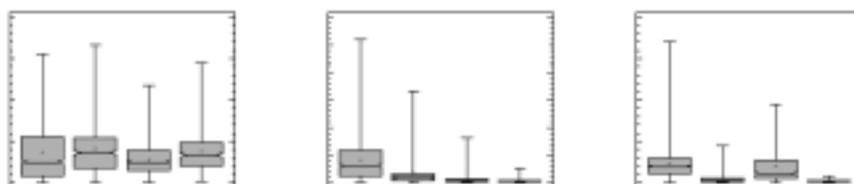


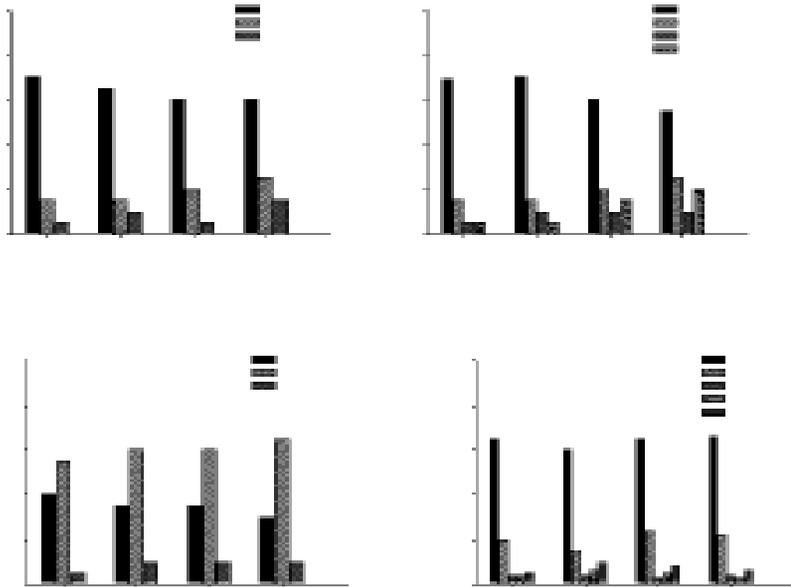
FIGURA 6. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS Y VARIABILIDAD DE FOSFATO, SILICATO Y CLOROFILA-A ENTRE TIPOS DE ECOSISTEMAS DE REGIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (L/BG), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC)



da por organismos representativos de los dinoflagelados, seguidos por las diatomeas, y no se observan diferencias interanuales significativas (figura 7c). Por lo que respecta a Dzilam, la comunidad está dominada por diatomeas seguida por los dinoflagelados; sin embargo, en esta localidad se observa un mayor número de grupos del fitoplancton como los de cianobacterias, clorofitas y criptofitas, y no se observan cambios interanuales (figura 7d).

Por lo que respecta a la vegetación acuática sumergida, el grupo dominante por su cobertura son los pastos marinos, siendo la especie más frecuente *Thalassia testudinum* (Aguayo 2003). Esta comunidad presenta dife-

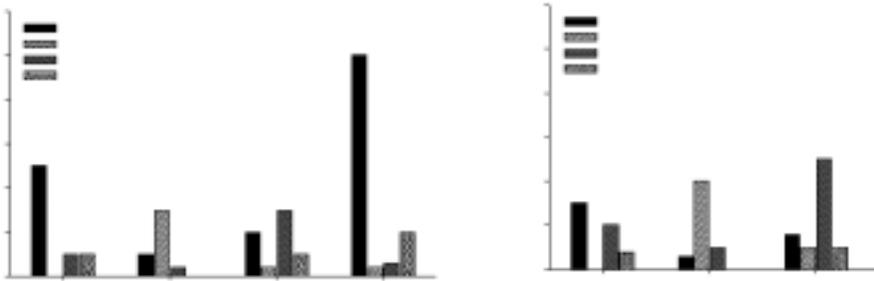
FIGURA 7. COMPOSICIÓN Y CAMBIOS INTERANUALES DE LOS GRUPOS DE FITOPLANCTON EN CUATRO LOCALIDADES DEL NORTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN



rencias entre sitios y se han observado cambios interanuales (figura 8). En Celestún el grupo dominante son los pastos, sin embargo, los cambios interanuales reflejan reducción en su cobertura, y aumento de las algas filamentosas. Respecto a la zona de Sisal, el grupo dominante son las algas rojas; interanualmente se observa aumento de este grupo. En la localidad de Progreso, las algas filamentosas es el grupo que domina la cobertura, y se observan cambios interanuales de aumento de ese grupo y reducción de los otros componentes. Por lo que respecta a Dzilam, los pastos marinos dominan la cobertura, sin embargo, se observa una disminución interanual.

Uno de los retos en la investigación y monitoreo de los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, es el que se refiere a la variabilidad espacial de las características hidrológicas, debido a la forma en la que el

FIGURA 8. COBERTURA DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA SUMERGIDA Y CAMBIOS INTERANUALES EN LOCALIDADES DEL NORTE DE YUCATÁN. CELESTÚN (CEL), SISAL (SIS), PROGRESO (PRO) Y DZILAM (DZI)



agua dulce penetra en los ecosistemas costeros (descargas subterráneas) y a las diferencias que tienen estas descargas respecto a las de los ríos, en términos de su baja temperatura y carga de sedimentos (Herrera-Silveira 1994).

Para ello, se ha utilizado un equipo de mapeo sinóptico de calidad del agua que permite por una parte coleccionar gran cantidad de información, así como hacerlo en lapsos de tiempo muy breves, ya que el equipo está diseñado para detectar diferentes variables (temperatura, salinidad, transparencia y fluorescencia) a través de un sistema de flujo continuo y con la embarcación en movimiento. Si bien se cuenta con información para la mayoría de los sitios que se citan en el cuadro 1, aquí se presenta el análisis de una localidad que tiene importancia no sólo por sus ecosistemas costeros sino por su ubicación geográfica y repercusiones económicas, se trata de los polígonos del Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, en las costas de Quintana Roo (Herrera-Silveira *et al.* 2002b).

Los datos de los recorridos utilizando el "Dataflow IV", se presentan en las figuras 9, 10, 11 y 12. En este caso la frecuencia de muestreo fue de cada 10 segundos (aproximadamente cada 50 m), y corresponden a los años 2001 y 2002.

Lo primero que se observa es la alta variabilidad espacial que hay en algunas de las características, lo que demuestra que las aguas costeras de estos sitios (zonas arrecifales) consideradas como ambientalmente estables,

son más heterogéneas espacialmente de lo que se pensaba.

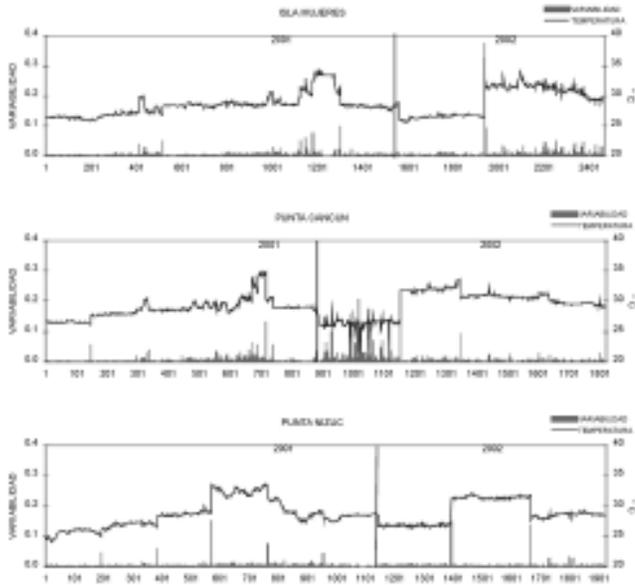
La temperatura fluctuó entre 21.6 °C y 36.34 °C (figura 9). El sitio con mayor variabilidad a nivel microescala espacial fue Punta Cancún, mientras que el de menor variabilidad fue Punta Nizuc. En relación con la salinidad ésta varió entre 28.2 y 36.8 (figura 10), presentando mayor heterogeneidad espacial a microescala espacial el polígono de Punta Nizuc. Por lo que respecta a la transparencia, la variación fue de 1.01 a 4.29 en un intervalo que va de 0 (aguas totalmente opacas) a 5 (aguas de transparencia completa) (figura 11). Esta variable fue más heterogénea en el polígono de Isla Mujeres y se observan diferencias interanuales. En relación con la fluorescencia como una medida de la Clorofila-a *in vivo*, esta variable se registró en un intervalo de 0.09 a 0.59 (figura 12), del intervalo 0 a 5 unidades de fluorescencia *in vivo*, con lo cual se confirma la tendencia oligotrófica de esas aguas. Sin embargo, su heterogeneidad espacial es muy alta principalmente en el polígono de Isla Mujeres, en esta misma localidad se observan diferencias interanuales.

En cuanto al diagnóstico de la condición trófica de los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, los resultados reflejan la condición inducida o cultural en cada sitio y no la natural de éste proceso. En la figura 3 se puede observar que sistemas como lagunas y bahías que presentan condiciones mesotróficas o eutróficas naturales, su estado como resultado del diagnóstico es clasificado como bueno, no así, el de sitios que a pesar de encontrarse en mares de naturaleza oligotrófica, sus síntomas de acuerdo con los indicadores de eutrofización los coloca en un estado clasificado como malo, habiendo un estado intermedio tipificado como regular.

Los resultados indican que los sistemas costeros de la Península de Yucatán se encuentran amenazados por la eutrofización cultural. Se observa, que este proceso está presente tanto en lagunas y bahías como en la costa.

En los ecosistemas costeros del Golfo de México, se observa que en el caso de Campeche las concentraciones de fosfatos, amonio y de clorofila-a son los síntomas más evidentes que dan como resultado que se le considere en un estado inicial de eutrofización, por lo que su condición es mala. En Celestún, la laguna se encuentra en buen estado de acuerdo con las características del agua a pesar de su condición mesotrófica natural. Sin embargo, en la costa los síntomas de eutrofización se observan en la comunidad del fitoplancton y en los pastos marinos, por lo que su estado mesotrófico permite clasificar a este ecosistema como un sitio en condición regular. Por lo que corresponde a Sisal, las concentraciones

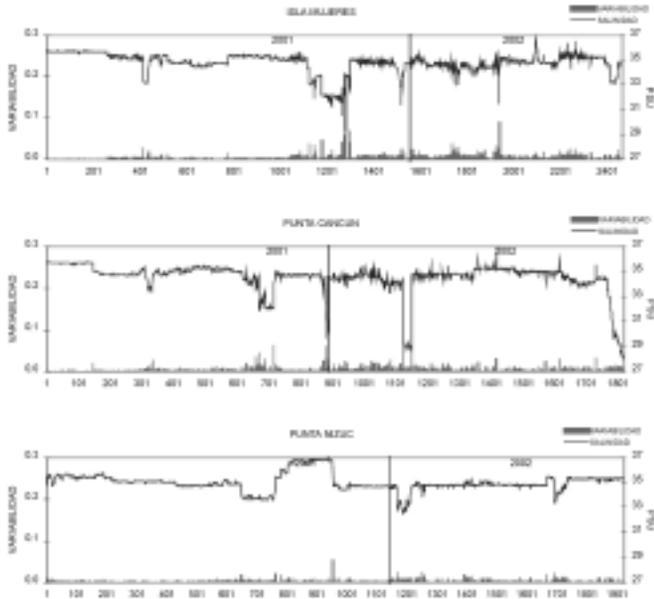
FIGURA 9. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA TEMPERATURA EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC



de amonio, fosfato, silicato y clorofila-a de la columna de agua, son los síntomas que indican un estado mesotrófico de esta localidad, por lo que su condición es regular. En el caso de Progreso, las condiciones hidrológicas, de fitoplancton y vegetación sumergida ocasionan que la laguna y la costa se encuentren en estados iniciales de eutrofización por lo que son clasificados en mala condición. En cuanto a la zona de Dzilam, si bien es un área reconocida como de alta productividad biológica, la información colectada de diferentes componentes indica que no hay síntomas de eutrofización cultural en la costa ni en la laguna, por lo que su condición es buena. En relación con el sistema lagunar hipersalino de Ría Lagartos y al marino-estuarino de Holbox, los indicadores de eutrofización cultural en estos sitios son bajos, por lo que se les clasifica en buena condición.

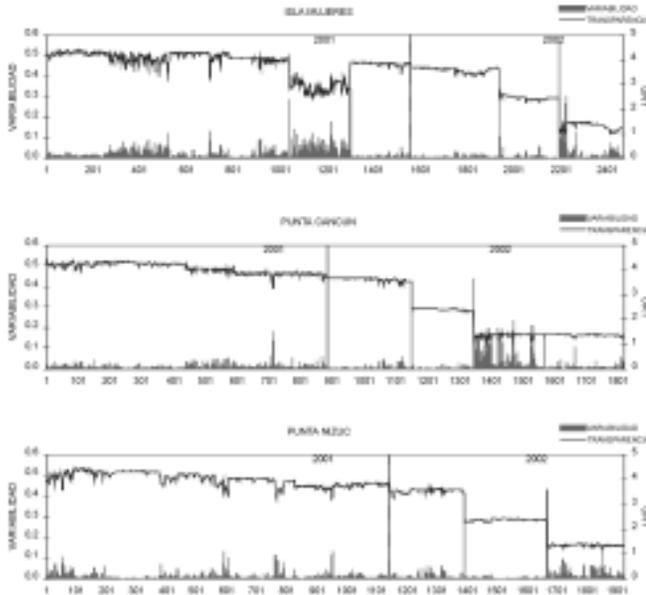
Respecto a los ecosistemas del Caribe, algunos de ellos presentan síntomas de eutrofización cultural. En la zona de Cancún que incluye Isla Muje-

FIGURA 10. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA SALINIDAD EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC



res hay condiciones en el agua y los pastos marinos que indican síntomas de eutrofización iniciales como en la laguna de Bojórquez y la laguna de Makax en Isla Mujeres, mientras que en las zonas costeras de mayor afluencia turística como Punta Nizuc y algunos sitios de Isla Mujeres su condición es regular. Por último, algunas áreas de estos mismos polígonos y el 90% del área de Punta Cancún se considera que están en buena condición. La costa de Playa del Carmen, presenta síntomas iniciales de eutrofización y se le considera que está en una condición regular. El área de bahía de Ascensión presenta condiciones hidrológicas y de pastos marinos que se pueden considerar como buenas; sin embargo, hay zonas aledañas al margen continental, a las áreas de pesca y al centro de población que presentan síntomas iniciales de cambio de estado trófico natural. Por último, la bahía de Chetumal es un sitio que presenta tanto buenas como malas condiciones respecto a los indicadores

FIGURA 11. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA TRANSPARENCIA EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC

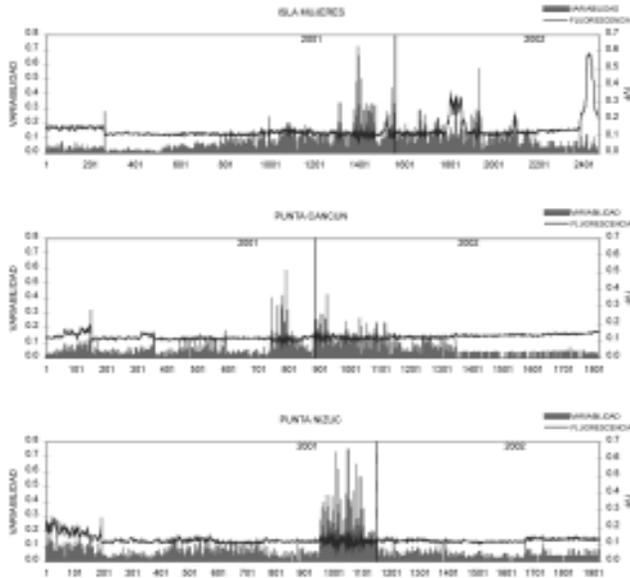


de eutrofización cultural. En áreas cercanas a la ciudad de Chetumal y desembocadura del río Hondo las condiciones de nutrientes, oxígeno disuelto y clorofila-a reflejan un estado de eutrofización inicial, mientras que hacia el interior las variables en general reflejan un buen estado.

DISCUSIÓN

El análisis de los resultados indica que los síntomas del proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán se reflejan tanto en diferentes componentes de los ecosistemas costeros, como en diferentes escalas espaciales y temporales, por lo que la investigación y monitoreo de largo plazo son las estrategias que podrán seguir definiendo las condiciones de los ecosistemas bajo el análisis de los mejores indicadores

FIGURA 12. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA FLUORESCENCIA EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC



de cada tipo de ecosistema.

Las principales causas de la eutrofización de los ecosistemas costeros de Yucatán se relacionan con los efluentes de aguas residuales provenientes de desarrollos urbanos, turísticos, de la acuacultura, y de forma muy importante con la falta de sistemas de tratamiento de las aguas residuales de la industria agropecuaria (Reyes 2001; Herrera-Silveira *et al.* 2002). Sin embargo, las modificaciones en la hidrología e hidrodinámica de los ecosistemas costeros por obras de infraestructura portuaria tienen un impacto severo en los cambios de su estado trófico. Si bien todas estas causas no son particulares para los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, en esta región del Golfo de México el problema de manejo se intensifica por la forma en que llega el agua dulce contaminada a la zona costera, por descargas no puntuales de agua subterránea haciendo muy difícil el saneamiento (Herrera-

Silveira *et al.* 2000, Medina-Chan 2003).

Por otra parte, la alta variabilidad espacial y temporal de los resultados indica la importancia de desarrollar valores de referencia específicos de los indicadores de eutrofización para cada tipo de ecosistema con base en series de tiempo, por lo que la normatividad en materia de calidad del agua costera debe ser revisada y adecuada. La sugerencia es que sea a nivel de los estados donde se desarrollen los criterios específicos; ésto es una estrategia aplicada en EE.UU. y en la Comunidad Europea (EPA 2001b, ICRAM 2000). El cuadro 2 es un punto de referencia que puede ser utilizado para definir los criterios “ad hoc” para cada tipo de ecosistema. Se sugiere que el marco conceptual y metodológico considere el concepto de cuenca hidrológica superficial y el subterráneo integrarlo a las características ecológicas que definen el funcionamiento de cada tipo de ecosistema, con lo cual la ecohidrología podría usarse como fundamento teórico de referencia.

Por lo que respecta al análisis de la variabilidad espacial a microescala, se puede observar en los resultados (figuras 9, 10, 11 y 12), que a pesar de lo relativamente pequeño que son los polígonos del Parque Marino de Cancún, el registro de las variables hidrológicas monitoreadas por el “DataFlow IV” es capaz de detectar diferencias espaciales, estacionales e interanuales, indicando que la estrategia de muestreo, así como el uso de este tipo de tecnología son apropiadas para determinar la variabilidad espacial de microescala. Adicionalmente, el tipo y cantidad de datos que se generan se presta para llevar a cabo análisis geoespaciales y probar hipótesis relacionadas con los procesos que influyen en la distribución espacial de variables físicas, químicas y biológicas. Por ejemplo, se podría identificar la extensión de la influencia de las descargas de agua dulce (pluma estuarina, pluma de sedimentos, alcance espacial de contaminantes), así como identificar el tamaño de los parches de fitoplancton, e incluso determinar la extensión de florecimientos algales nocivos; por otra parte, apoyaría la selección de sitios para el monitoreo.

Este tipo de información y análisis facilita la interpretación de las relaciones entre parámetros de calidad del agua y las características de la zona o cuenca de drenaje. Así mismo, facilita el seguimiento del éxito de las acciones de manejo y saneamiento del agua, además de que podría orientar el diseño de nuevos experimentos y planteamiento de nuevas hipótesis.

El análisis de resultados entre tipos de ecosistemas y regiones, indica que las lagunas y bahías son más variables hidrológicamente (figuras 4, 5 y 6); ésto es resultado de la interacción entre las descargas de agua dulce y su condición semicerrada, lo que favorece gradientes salinos tanto de tipo

estuarino como hiperhalino, y por lo tanto los procesos de importación/exportación y almacenamiento de nutrientes son altamente variables (Smith *et al.* 1999).

Un aspecto a resaltar es que si bien los resultados de salinidad y concentración de silicatos indican que los ecosistemas de la Península de Yucatán en la región del Golfo de México tienen mayor influencia de las aguas subterráneas, las concentraciones de nitrato y fosfato en los ecosistemas del Caribe son mayores (figuras 5 y 6), sugiriendo que los aportes de agua subterránea en estos ecosistemas llevan una mayor carga de nutrientes, poniendo en mayor riesgo de eutrofización a los ecosistemas de esta región. Estas observaciones abren preguntas que deberían ser abordadas de forma inmediata por la investigación, y se refieren al origen de los nutrientes, la trayectoria del agua del acuífero, y efectos de corto y largo plazo en diferentes componentes del ecosistema utilizando novedosas aproximaciones metodológicas como el uso de isótopos estables y tecnológicas como de equipos que midan estrés fisiológico (Ralph y Burchett 1995, Fourquaran *et al.* 1997, Durako y Kunzelman 2002). Estas nuevas aproximaciones brindan la oportunidad de llevar a cabo un diagnóstico y monitoreo que tenga como finalidad el manejo adaptativo de los recursos naturales.

Por lo que toca a las variables de fitoplancton y VAS, ambas han demostrado su utilidad al reflejar las diferencias hidrológicas en sitios que difieren en cuanto al tipo e intensidad de uso de los ecosistemas costeros (cuadro 1). Es por ello que han sido incluidas en los programas de monitoreo de ecosistemas costeros de diferentes latitudes (Hemminga y Duarte 2000, Livingston 2001).

En el caso de Celestún, la laguna está en buenas condiciones ambientales, sin embargo, la modificación artificial de la hidrodinámica a consecuencia de un puente-dique, podría favorecer la eutrofización acelerada de la zona interna. La zona costera presenta altas concentraciones de nitrato y fosfato, sugiriendo que los aportes de agua subterránea están enriquecidos probablemente por aguas residuales, lo cual podría estar influyendo en el cambio de las comunidades de fitoplancton (figura 7a). La vegetación de pastos marinos se ha visto reducida (figura 8), estos cambios podrían ser variaciones interanuales naturales (Zieman *et al.* 1999) o inducidas por el impacto de actividades pesqueras en zonas de baja profundidad (<2m) que provocan resuspensión de sedimentos y daño físico.

Por lo que respecta a Sisal, la mayor profundidad de la costa (>4m) es una condición que determina la mayor cobertura de algas rojas (figura 8), sin embargo, los cambios en las concentraciones de nutrientes producto de

los aportes de la actividad camaronícola, están teniendo efectos en zonas cercanas a la playa de uso turístico. Esta industria descarga sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento a la costa reflejándose en mayores concentraciones de nitrato, amonio, fosfato, silicato, materia particulada y clorofila-a (Reyes 2001), las consecuencias en la comunidad de fitoplancton apuntan a un aumento de dinoflagelados y clorofitas (figura 7b).

En relación a Progreso, la vegetación sumergida está compuesta principalmente de algas filamentosas (figura 8), lo que sugiere un estado de eutrofización más avanzado que los sitios anteriores. Por otra parte, la dominancia de dinoflagelados en el fitoplancton y el registro de especies típicas de florecimientos algales nocivos, es otro síntoma de cambio de estado trófico, esos eventos han sido más frecuentes en años recientes en las costas de Yucatán.

En Dzilam, si bien las condiciones generales del sitio sugieren que se encuentra en buen estado (figuras 7 y 8), habría que investigar y monitorear los factores asociados a los cambios interanuales en la cobertura de pastos marinos, y definir si es el resultado de procesos naturales o antrópicos.

Entre las acciones que se deberían emprender para mejorar o conservar la calidad del agua costera y no estimular el proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, están el de contar con las plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo convencional o mejorar las existentes, usar humedales naturales o contruidos de acuerdo con la carga orgánica, así como evitar las descargas clandestinas directas a los ecosistemas, y hacer uso de la ingeniería costera para mejorar la hidrodinámica en las zonas donde ésta ha sido severamente alterada

En el ámbito de la investigación queda mucho por hacer. En primera instancia aplicar la aproximación metodológica que aquí se presenta, en localidades donde se carece por completo de información. En el caso del monitoreo, es tiempo de contar con programas de investigación de ecosistemas costeros de largo plazo, como los hay para ecosistemas terrestres. Estos programas que son para ecosistemas específicos ofrecen la oportunidad de que através de series temporales se determinen los patrones de comportamiento y los procesos que actúan a diferentes escalas de tiempo, y que son responsables del funcionamiento del ecosistema. Por último, para ambos casos (investigación y monitoreo) se sugiere integrar nuevas tecnologías de análisis de toma de datos y análisis de los mismos como por ejemplo, isótopos estables, biomarcadores morfométricos y fisiológicos en pastos marinos y análisis geoespaciales entre otros.

La información más reciente indica que los ecosistemas costeros de la Península

la de Yucatán están hidrológicamente controlados por las descargas de agua subterránea y las interacciones costa-océano, lo que hace ser hidrológicamente heterogéneos, característica que se relaciona con factores locales como:

- a) número y distribución de las descargas subterráneas
- b) frecuencia e intensidad de eventos naturales (“nortes”, huracanes, tormentas)
- c) frecuencia e intensidad de las precipitaciones (pulsos de descargas de agua dulce)
- d) tipo e intensidad de las actividades antrópicas (aguas residuales urbanas, agropecuarias, industriales, de acuicultura, así como modificaciones a la hidrodinámica y cambios en el tiempo de residencia del agua).

Todos estos factores tienen relación con la vulnerabilidad de los ecosistemas al modificar su estado trófico y desencadenar diferentes síntomas de eutrofización. Por lo que en el análisis y monitoreo de este proceso se deben integrar además de las variables físicas y químicas del agua, las características del fitoplancton y de la VAS, considerando aspectos que van desde los fisiológicos hasta los de la comunidad, lo que permitiría definir la salud de los ecosistemas y las medidas para mantenerla o mejorarla.

La información que se ha presentado, refleja que en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán existen ya consecuencias ecológicas de la eutrofización cultural. Las recomendaciones son que se reconozca que este problema es una realidad y se puedan poner en marcha programas de largo plazo relacionados con la conservación y usos de los recursos naturales de la franja costera, ya que el no actuar ahora en los aspectos de gestión, investigación y monitoreo de la eutrofización de los ecosistemas de la Península de Yucatán, traería entre otras consecuencias impactar en lugar de conservar, remediar en lugar de prevenir, explotar en lugar de aprovechar, haciendo aún más lejana la meta del manejo integrado de la zona costera del Golfo de México.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido el resultado del esfuerzo de un gran número de personas e instituciones. Se agradece la colaboración de los auxiliares y estudiantes del laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV-IPN Unidad Merida, en especial a Javier Ramírez, Arturo Zaldivar, Mireya Aguayo, Israel Medina,

Ivan Medina, Fedro Tapia, José Sima, Manuel Reyes, Reyna Colli, Leonardo Arellano, Jorge Trejo, Octavio Gómez y Gabriel Borges. También la colaboración del personal de la Estación de Investigación Oceanográfica de la Secretaría de Marina en Progreso y a los miembros de las Áreas Naturales Protegidas de Cancún, Contoy y Sian ka'an. Un reconocimiento especial a todos los pescadores que nos han enseñado muchas cosas sobre los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán. El financiamiento ha provenído del CONACYT (PO20COOR; 4147PT; 32356T; SISIERRA-2000-07-06-15), CONABIO (B019; M011; S004) y CINVESTAV-IPN Unidad Merida.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M. 2003. Variabilidad de la vegetación acuática sumergida de la costa norte de Yucatán como indicador de la calidad del agua costera. Tesis de maestría. CINVESTAV-IPN Unidad Merida, México.
- Bianchi, T.S., Pennock, J.R., and Twilley, R.R. 1999. Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries: Implications for management. En: Bianchi, T.S., Pennock, J.R. y R.R. Twilley. *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Boyer, J. N., Fourqurean, J.W. y R.D. Jones. 1997. Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater Bay by Multivariate Analyses: Zones of Similar Influence. *Estuaries* 20(4): 743-758.
- Bricker, S.B., Clement, C.G., Pirhalla, D.E., Orlando, S.P. y D.R.G. Farrow. 1999. National estuarine eutrophication assessment: Effects of nutrient enrichment in the Nation's estuaries. NOAA, *National Ocean Service, Special Projects Office and the National Center for Coastal Ocean Science*. Silver Spring.
- Capurro, F.L., Euán-Avila, J., y Herrera-Silveira, J.A. 2002. Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán. *Avance y Perspectiva* 21:195-204.
- CNA, 2000. *Ley de aguas nacionales y su reglamento*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Durako, M.J., y J.I Hunzelman 2002. Photosynthetic characteristics of *Thalassia testudinum* measured in situ by pulse-amplitude modulated (PAM) fluorometry: methodological and scale-based considerations. *Aquatic Botany*, 73:173-185. Elsevier.
- EPA 1999. Ecological Condition of Estuaries in the Gulf of Mexico. EPA 620-R-98-004. *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Gulf Ecology Division, Gulf Breeze, Florida*.
- 2001. Nutrient criteria. Technical guidance manual. Estuarine and coastal waters.

- Environmental Protection Agency. Office of Water. EPA-822-B-01-003. Washington, DC
- 2001b. National coastal condition report. Environmental Protection Agency Office of research and development. EPA-620/R-01/005. Washington, DC.
- Euan-Avila, J.I y G.S. Witter 2002. Promoting Integrated Coastal Management in the Yucatan Peninsula, México. *Journal of Policy Studies*, 12:1-16.
- Fourqurean, J.W., Moore, T.O., Fry, B. y .J.T. Hollbaugh 1997. Spatial and temporal variation in C:N:P ratios 15N 13C of eelgrass *Zostera marina* as indicators of ecosystem processes in Tomales Bay, California USA. *Marine Ecology Progress Series*, 157:147-157.
- Fourqurean, J.W., Durako, M.J., Hall, M.O., and Hefty, L.N. 2002. Seagrass distribution in south Florida: a multi-agency coordinated monitoring program. Pp:497-522. En: Porter, J.W. y K.G. Porter. *The Everglades, Florida Bay and coral reefs of the Florida Keys*. CRC Press, Boca Raton.
- Hemminga, A.A. y C.M. Duarte 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, United Kindom.
- Herrera-Silveira, J.A. 1994. Spatial and temporal patterns in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. *Journal of Coastal Research* 10 (3): 738-746.
- Herrera-Silveira, J.A. y Comín, F.A. 2000. An Introductory account of the types of aquatic ecosystems of Yucatan Peninsula (SE Mexico). 213-227pp. En: M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar y D.F. Malley (eds.). *Ecovision World Monographs Series. Aquatic Ecosystems of Mexico: Status & Scope*. Backhuys Pub. Leiden, Netherlands.
- Herrera-Silveira J.A, Medina G.I y R. Colli 2002. Trophic Status on nutrient concentrations scales and primary producers community of tropical coastal lagoons influenced by groundwater discharges. *Hydrobiología* 476/476:91-98.
- Herrera-Silveira J.A, Medina-Gómez I, Aranda-Cirerol N, Zaldivar JA, Ramírez J, Trejo J. 2002b. Trophic status in coastal waters of the Yucatán Península (SE, México) using water quality indicators. En: Brebia C.A. (ed.). *Environment Problems in Coastal Regions IV*. Wit-Press, Southampton, Boston, pp. 351-359.
- ICRAM. 2000. Qualità Degli Ambienti Marini Costieri Italiani. 1996-1999. *Valutazione Preliminare del Monitoraggio Realizzato in Cnvezione con le Rewgioni Costieri*. Ministero dell' Ambiente. Sevizio Difesa Mare, Italia.
- Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C. y S.W. Wright 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography*. Monographs on Oceanographic Methodology, UNESCO, Paris.
- Karydis M., Ignatiades L. y N. Moschopoulou 1983. An Index Associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 16: 339-344.
- Livingston, R.J. 2001. Eutrophication processes in coastal systems: origin and succession

- of plankton blooms and effects on secondary production in Gulf Coast estuaries. *CRC Press*, Boca Raton.
- Madden, C.J., and Day Jr, J.W. 1992. An instrument system for high speed mapping of chlorophyll and physico-chemical parameters. *Estuaries* 15(3).
- Medina-Chan, I. 2003. Efectos de una construcción en mar sobre la hidrología y estado trófico de la columna de agua: El caso del Puerto de Altura de Progreso. Tesis de Maestría, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. México.
- Merino, M., González, A., Reyes, E., Gallegos, M y Czitrom, S. 1992. Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. *Science of the Total Environment*. Supplement, pp. 861-870.
- Parsons, T.R. Maita, Y. y C.M. Lalli 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Ralph, P.J. y M.D. Burchett 1995. Photosynthetic response of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to high irradiance stress, using chlorophyll a fluorescence. *Aquatic Botany* 51: 55-56.
- Reyes, E. y M. Merino. 1991. Diel dissolved oxygen dynamics and eutrophication in a shallow, well-mixed tropical lagoon (Cancun, Mexico). *Estuaries* 14(4):372-381.
- Reyes A. R.. 2001. Hidrología y estado trófico de la columna de agua de la zona marina costera de Sisal, Yucatán. Tesis de Maestría. *Instituto Tecnológico de Mérida*, México.
- Rivera-Arriaga, E., and Villalobos G. 2001. The coast of México: approaches for its management. *Ocean & Coastal Management*, 44:729-756.
- Smith, S.V., Marshall J, . Crossland, I. and Crossland, C.J. 1999. Mexican and Central American Coastal Lagoon Systems: Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Fluxes (Regional Workshop II), *LOICZ Reports & Studies No. 13*, Texel, The Netherlands.
- Troccoli L. 2001. Efecto de los afloramientos de agua dulce en la estructura del fitoplancton: patrones espaciales y temporales Tesis doctoral, Ciencias Marinas, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, México.
- Urban E.R., Mallory L., and Taylor, C. 1996. Priorities for Coastal Ecosystem. Science. Committee to Identify High-priority Science to Meet National Coastal Needs Ocean Studies Board Commission on Geosciences, Environment, Resources National Researcher Council., Washington, D.C.
- Zieman, J. Fourqurean, J.W., and Frankovich, T. 1999. Seagrass die-off in Florida Bay: long-term in abundance and growth of turtle grass *Thalassia testudinum*. *Estuaries*, 22(2b): 460-470.

EL DELTA DEL RÍO MISISIPI: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, IMPACTOS AMBIENTALES Y MANEJO SUSTENTABLE

*John Day, Paul Templet, Jae-Young Ko, William Mitsch,
G. Paul Kemp, James Johnston, Gregory Steyer, John Barras,
Dubravko Justic, Ellis Clairain y Russell Theriot*

INTRODUCCIÓN

El funcionamiento y la sustentabilidad del ecosistema del delta del Misisipi es controlado mediante las interacciones entre el río Misisipi y los procesos marinos. El río Misisipi tiene una cuenca de drenaje total de aproximadamente tres millones de km², abarca 40% de los 48 estados de Estados Unidos de Norteamérica debajo de la frontera con Canadá, y es responsable de cerca del 90% del flujo de agua dulce hacia el Golfo de México. Las afluentes principales del río Misisipi bajo son los ríos Ohio, Misisipi alto, Misuri y el Arkansas; aproximadamente el 60% de los esteros y pantanos del Golfo de México se localizan en la costa de Luisiana (Lindstedt *et al.* 1991).

El delta del Misisipi tiene una gran importancia ecológica y económica, ya que los humedales costeros y las aguas someras del delta son hábitat para peces y vida silvestre; producen alimentos, regulan transformaciones químicas, mantienen la calidad del agua, almacenan y liberan agua, y amortiguan la energía de las tormentas (Day *et al.* 1989, 2000). Estos procesos del delta sustentan importantes actividades económicas vitales para la economía estatal y nacional. La captura comercial de peces y mariscos contribuye a la economía con más de mil millones de dólares anuales (LCWCRTF 1993). El ecoturismo, la caza, la producción de pieles de animales silvestres y la captura de caimanes son actividades derivadas de los humedales y generan

cerca de mil millones de dólares anuales después que los bienes y servicios asociados son incorporados (Day *et al.* 1997).

Una serie de actividades humanas han afectado al delta desde principios del siglo XX, por ejemplo, la construcción de diques, las alternancias hidrológicas masivas y las confiscaciones que han causado intrusión de agua salada, la erosión de olas, los litorales expuestos y la pérdida de humedales (cerca de 100 km² al año). El patrón de manejo actual, cuya prioridad es la navegación y el control de inundaciones, es parcialmente responsable de estos problemas. Este patrón se ejecuta a través de una complicada disposición de normas administradas por el gobierno federal y diversos gobiernos estatales, locales y otras unidades administrativas. Los intereses socioeconómicos involucrados en este asunto incluyen la producción pesquera anual más elevada (Turner 1977) así como inversiones económicas masivas de toda la nación. También alberga el patrimonio de los Cajun del sur de Luisiana, uno de los más grandes grupos culturales distintivos y no integrados a la cultura dominante de los Estados Unidos de Norteamérica.

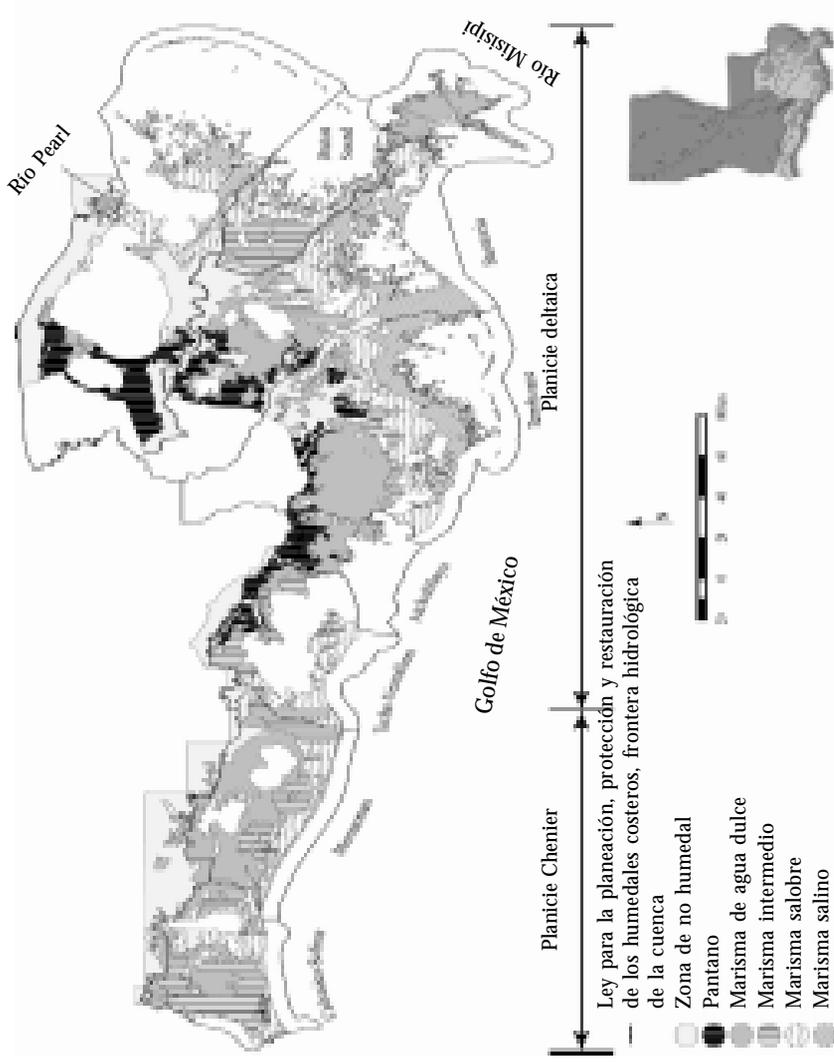
En este capítulo examinaremos (1) los aspectos geológicos, ecológicos y económicos del delta del Misisipi, (2) los problemas ambientales en el delta y sus causas, y (3) la estructura administrativa de gobierno que incluye puntos de vista de grupos de interés y presenta estrategias para lograr un manejo más adecuado del delta.

ANTECEDENTES: GEOLOGÍA, PULSOS, ECOLOGÍA Y ECONOMÍA

GEOLOGÍA

El delta del Misisipi (figura 1) se formó, a partir de una serie de lóbulos deltáicos sobrepuestos durante los últimos 6,000–7,000 años (Roberts 1997). En los lóbulos activos hubo un incremento en el área de humedales mientras que, en los lóbulos abandonados hubo pérdida de humedales. A pesar de esto, durante varios de los últimos miles de años el área de humedales tuvo un incremento general neto. El delta se describe frecuentemente como una serie de cuencas hidrológicas separadas por canales tributarios activos o abandonados. Los humedales costeros del delta del Misisipi están compuestos por dos unidades fisiográficas, la Planicie Deltáica al este y la Planicie Chenier al oeste (Roberts 1997). La formación activa de lóbulos deltáicos se llevó a cabo en la Planicie Deltáica que

FIGURA 1. ZONA COSTERA DE LUISIANA



Fuente: modificada de Linscombe et al. 2001.

está dividida en seis unidades hidrológicas que son, de este a oeste, Pontchartrin, Breton, Birdfoot, (Balize, en la boca del río Misisipi), Barataria, Terrebonne, y las cuencas Atchafalaya y Teche-Vermilion. En la mayoría de los análisis de los humedales costeros de Luisiana, el delta de Birdfoot se considera una unidad hidrológica separada aunque técnicamente no es una cuenca. La Planicie Chenier se creó a partir de una serie de crestas de playa y plataformas de lodo que se formaron durante períodos en que los de sedimentos derivaron con un atencencia hacia el oeste. Esta planicie contiene dos unidades hidrológicas, las cuencas Nermentau y Calcasieu-Sabine (figura 1).

La costa también se caracteriza por una serie de zonas de vegetación (salina, salobre, marismas intermedias y de agua dulce, y humedales de agua dulce arbolados) que van de la costa hacia tierra adentro. Estas zonas de vegetación se caracterizan principalmente por su salinidad. Los cambios que han sufrido estas zonas durante el último medio siglo han sido descritos en una serie de cuatro mapas de vegetación (O'Neil 1949, Chabreck *et al.* 1968, Chabreck y Linscombe 1978,1988). En el siglo XX, el área total del delta, incluyendo los humedales, los cuerpos de agua someros tierra adentro y las áreas de bajas elevaciones sobre tierra que se encuentran principalmente en crestas de tributarios era aproximadamente de 25,000 km².

PULSOS

La entrada de agua, sedimentos y nutrientes desde el río Misisipi incrementa directamente la acumulación vertical a través del depósito de sedimentos minerales, e indirectamente mediante la estimulación del crecimiento de plantas y la formación de tierra orgánica. La entrada de materiales hacia el delta del Misisipi no ha sido constante a lo largo del tiempo, sino que se lleva a cabo en una serie de pulsos jerárquicos que producen beneficios que varían espacial y temporalmente (Day *et al.* 1995, 1997, 2000). La periodicidad de los pulsos es altamente variable, y fluctúa desde el tiempo que ocurre en un lapso de mareas diurnas, hasta cientos de años, que es el tiempo en que se lleva a cabo la desviación de canales fluviales que comprende tormentas asociadas con corredores frontales, inundaciones fluviales anuales, tormentas intensas como los huracanes, e inundaciones fluviales mayores. Es necesario que el manejo sustentable del delta del Misisipi tome en cuenta las funciones de estos pulsos (Day *et al.* 1997).

ECOLOGÍA Y ECONOMÍA

Los deltas tienen gran importancia ecológica y económica y el del Misisipi no es una excepción. En su estado natural, los deltas son amplias áreas de humedales cerca del nivel del mar entrelazadas con canales a través de los que se mezclan el agua dulce y el agua de mar. La crecida fluvial anual suministra un pulso de agua dulce, nutrientes inorgánicos y materiales orgánicos lo cual estimula la producción primaria y secundaria. La tasa de producción de marismas en el delta del Misisipi es la más alta de Norteamérica. (Mendelssohn y Morris 2000). El aumento en la producción primaria genera mayores tasas de producción alimenticia para consumidores y un incremento en la formación de tierra orgánica. Los sedimentos y los nutrientes fertilizan las plantas de los humedales; la entrada de agua dulce mantiene el gradiente de salinidad de dulce a salino, con lo que se crean condiciones de estuario que sustentan una gran diversidad de hábitats de humedales y acuáticos. El aumento del área de humedales y su productividad, derivada de entradas fluviales, dan origen a una mayor producción secundaria de pesquerías y la vida silvestre. Las pesquerías marinas y estuarinas del delta de Misisipi son las más elevadas de todos los estados de los Estados Unidos de Norteamérica. Los humedales también tienden a consumir y a procesar nutrientes, lo que da origen a una mayor productividad del humedal y a que disminuyan los problemas de calidad del agua. La relación entre las entradas fluviales y la productividad de los estuarios ha sido corroborada por varios autores (Moore *et al.* 1970, Nixon 1981, Boynton 1982, Cadee 1986).

La economía regional ha dependido sustancialmente del delta del Misisipi; un ejemplo de ello son las capturas de pesca comercial del estado de Luisiana, que en 1995 dieron cuenta de aproximadamente el 81% de la pesca total del Golfo de México y del 40% del valor de mercado. Gran parte de esta pesca (76%) se obtuvo en un radio de tres millas de esta costa (NMFS 1995). La presencia del delta del Misisipi convierte al Golfo de México en una de las áreas de mayor importancia pesquera. Por ejemplo, los desembarcos comerciales totales del Golfo de México (782,190 toneladas métricas) sobrepasaron los de toda la costa Atlántica (677,820 toneladas métricas) en 2002 (NMFS, <http://www.st.nmfs.gov>). La producción de las pesquerías costeras de Luisiana, que en su mayoría provienen del delta, es de aproximadamente 600,000 toneladas métricas anuales con un valor inicial de cerca de 300 millones de dólares (NMFS; <http://www.st.nmfs.gov>). Los

pescadores que se dedican a la pesca recreativa contribuyen a la economía de Luisiana con 944 millones de dólares anuales (Raynie y Beasley 2000). En Luisiana 61,000 empleos están vinculados con el ecoturismo y otros usos no consuntivos de la zona costera deltaica (LCWCRTF 1993).

La producción de gas en esta zona representa el 21% del suministro de los Estados Unidos de Norteamérica y está valuada en 7.4 mil millones de dólares anuales; los productos petroleros de las refinerías ubicadas en la zona costera de Luisiana están valuados en 30 mil millones de dólares anuales. Sin embargo no se tiene una cifra en dólares, la protección contra tormentas e inundaciones que ofrecen los humedales costeros permite a veinte millones de personas vivir en esta zona de Luisiana. Las tuberías, las instalaciones para la producción de gas y petróleo, las carreteras, las bases de abastecimiento y otros tipos de infraestructura dependen de los humedales costeros para amortiguar las marejadas de tormenta. El comercio marítimo que transita por los humedales costeros de Luisiana es de aproximadamente 460 millones de toneladas anuales, el mayor de cualquiera de los estados de los Estados Unidos de Norteamérica. Las instalaciones portuarias entre Baton Rouge y la boca del río reciben anualmente 230 millones de toneladas con un valor de 30 mil millones de dólares (LCWCRTF 1993).

Además se han calculado (Costanza *et al.* 1997) valores provenientes de los humedales y estuarios del delta que no tienen valor mercantil. Estos son servicios "gratuitos" provistos por los estuarios que normalmente no se consideran valiables porque no existe un precio de mercado para ellos. El cuadro 1 muestra un listado de algunos de estos servicios gratuitos junto con algunos servicios de mercado como la producción alimenticia y la recreación.

PROBLEMAS AMBIENTALES Y SUS CAUSAS EN EL DELTA DEL MISISIPÍ

PÉRDIDA DE HUMEDALES

Durante más de 5,000 años, la condición del delta había sido de crecimiento neto, pero ésta se ha revertido drásticamente. Desde la década de 1930 hasta nuestros días se ha dado una pérdida dramática de humedales en el delta del Misisipi, con tasas de pérdida de casi 100 km² por año (Gagliano *et al.* 1981), y se ha perdido un área total de cerca de 3,900 km² de humedales costeros (Boesch *et al.* 1994). Las tasas de pérdida de humedales fueron más elevadas durante las décadas de 1960 y 1970 y han descendido desde entonces, aunque siguen siendo altas (Baumann y Turner 1990, Britsch y Dunbar 1993,

CUADRO 1. VALORES DE LOS SERVICIOS DE ECOSISTEMA PARA LOS HUMEDALES Y ESTUARIOS DEL DELTA DEL MISISIPÍ

SERVICIOS	HUMEDALES		ESTUARIOS	
	VALOR PROMEDIO GLOBAL (\$ HA ² /AÑO) ¹	VALORES ANUALES PARA EL DELTA (MILLONES DÓLARES)	VALOR PROMEDIO GLOBAL (\$ HA ² /AÑO) ¹	VALORES ANUALES PARA EL DELTA (MILLONES DE DÓLARES)
Regulación del gas	133	197		
Regulación de perturbación	4,539	6,733	567	1,056
Regulación del agua	15	22		
Suministro de agua	3,800	5,637		
Ciclado de nutrientes			21,100	39,280
Tratamiento de desechos	4,177	6,196		
Control biológico			78	145
Hábitat/refugios	304	451	131	244
Producción alimenticia	256	380	521	970
Materias primas	106	157	25	47
Recreación	574	851	381	709
Culturales	881	1,307	29	54
Total	14,785	21,931	22,832	42,505

Nota: Área de humedales del delta del Misisipi: 14,833 km²; estuarios en el delta: 18,616 km² (Twilley y Barras 2003); ¹valores por hectárea obtenidos de la Tabla 2 de Costanza, *et al.* 1997.

Barras *et al.* 1994). Entender las causas de esta pérdida de tierra es importante no sólo desde el punto de vista del conocimiento científico de los mecanismos involucrados, sino para que se desarrollen estrategias de manejo eficientes para recobrarlas (para la revisión de estos asuntos, ver Boesch *et al.* 1994).

Los diques para controlar las inundaciones a lo largo del río Misisipi causaron la eliminación del aporte fluvial en gran parte del delta. Antes de los asentamientos europeos en el río Misisipi, varios procesos fluviales, como la inundación de la ribera, las fisuras, la bifurcación de canales y la desviación del delta, compensaban el hundimiento natural en la planicie del delta y mantenían una ganancia neta de humedales. Además de los diques para

controlar las inundaciones, la mayoría de los canales tributarios activos estaban cerrados y la boca del río se hacía más eficiente, lo que causaba que la mayoría de los sedimentos se perdieran en las aguas profundas del Golfo de México. También ha habido una reducción de la carga de sedimentos suspendidos en el río Misisipi ocasionada por la construcción de presas en la parte alta del río (Kesesl 1988, 1989).

Otro factor que ha llevado a la pérdida de humedales es la alteración hidrológica provocada principalmente por los canales. Éstos eran originalmente dragados para el drenaje o la navegación pero, en la actualidad están extremadamente vinculados con la industria petrolera. Los humedales costeros tienen ahora una densa red de canales formados por aquellos que dan acceso a las plataformas petroleras, los canales para las tuberías, y los canales de extracción profunda para sostener las embarcaciones de la industria petrolera. Aunque se estima que estos canales sólo ocupan un 2.5% del área total de la superficie costera, el impacto destructivo que han ocasionado es mucho mayor (Craig *et al.* 1979, Turner *et al.* 1982). Los bancos de desechos compuestos por el material dragado de los canales tienden a sofocar las marismas cercanas y de esta manera convierten a los humedales en tierras altas e interrumpen los procesos hidrológicos naturales. Los bancos de desechos obstaculizan el flujo laminar, represan las aguas y causan el deterioro de las marismas. Los canales de navegación profundos conectan las áreas de agua salina con las de agua dulce. Tienden a disminuir el tiempo de retención del agua dulce y permiten una mayor penetración de agua salina tierra adentro. Las estelas generadas por los barcos erosionan los bancos y muchos de los canales se han ensanchado tremendamente desde la primera vez que fueron dragados (Craig *et al.* 1979).

La reducción de la entrada de sedimento hacia el delta es otra de las causas que ha ocasionado la pérdida de humedales en Luisiana. Existen dos fuentes de sedimentos alóctonos que se acumulan en la superficie de los humedales en el delta del Misisipi. Una fuente es la entrada directa de sedimentos fluviales durante la crecida anual en primavera. Esta fuente se ha eliminado en la mayor parte de la zona costera por los diques y los malecones a lo largo del río Misisipi. Otra fuente son los sedimentos resuspendidos de cuerpos de agua y depositados en los humedales durante las tormentas. Esta gran reducción de entrada de sedimentos causa déficits de 4.1 a 8.1 mm anuales en la acumulación vertical, y dependen de los tipos de marisma (Templet y Meyer-Arendt 1988). La acumulación vertical se puede convertir en un déficit de área al utilizar el por ciento del material inorgánico de las

marismas y la densidad aparente. Los déficits minerales (inorgánicos) están dentro de un rango de 400 a 2,500 g/m²/año dependiendo del tipo de marisma (Templet y Meyer-Arendt 1988) (cuadro 2).

Otro factor que contribuye a la pérdida de humedales es el represamiento. Casi una tercera parte del delta ha sido aislado o semiaislado mediante la

CUADRO 2. DÉFICIT DE ACUMULACIÓN EN HUMEDALES

TIPO DE MARISMA	DÉFICIT DE ACUMULACIÓN VERTICAL (MM/AÑO)	DÉFICIT DE ACUMULACIÓN EN EL ÁREA, INORGÁNICA (G/M ² /AÑO)
Dulce	4.1	409
Intermedia	7.1	1361
Salobre	8.1	2,476
Salina	6.0	960

Nota: modificación del cuadro 3 de Templet y Meyer-Arendt 1988.

construcción deliberada o accidental de varios tipos de represamientos (Day *et al.* 1990). Los represamientos son áreas que están rodeadas por completo o parcialmente por diques. En los represamientos que están siendo manejados, los niveles de agua están controlados de alguna manera por medio de estructuras de control de aguas. En el caso más extremo, las bombas extraen completamente el agua y el área queda convertida en tierra, por ejemplo, la mayoría de la zona metropolitana de New Orleans alguna vez fue un humedal y actualmente es el área de represamiento más grande del delta. Pero muchas áreas en represa-miento todavía están en un estado seminatural, y el nivel y flujo de agua se controla mediante estructuras de control. Originalmente estas áreas fueron diseñadas para prevenir la intrusión de agua salada y para bajar los niveles de agua con el fin de promover el crecimiento de plantas, pero se ha demostrado que esta clase de manejo puede llevar a un descenso en el

crecimiento de plantas y a una menor entrada y acumulación de sedimentos; además, puede restringir el movimiento de especies migratorias marinas y estuarinas (Reed 1992, Boumans y Day 1994, Cahoon 1994).

En resumen, la mayoría de los investigadores concluyen que la pérdida de tierra implica una interacción compleja de estos factores causales que actúan en diferentes escalas espaciales y temporales (por ejemplo, Turner y Cahoon 1987, Day y Templet 1989, Boesch *et al.* 1994, Day *et al.* 1995, 1997). Day *et al.* (2000) concluyeron que el aislamiento del delta y el río por medio de diques es un factor importante.

ALTO ÍNDICE DE CRECIMIENTO RELATIVO DEL NIVEL DEL MAR

El crecimiento relativo del nivel del mar (RSLR, por sus siglas en inglés) se da por la combinación del crecimiento eustático del nivel del mar y el hundimiento. La tasa actual de crecimiento eustático del nivel del mar está entre 1-2 mm anuales (Gornitz *et al.* 1982), pero el RSLR en el delta del Misisipi lo excede y llega hasta 10 mm anuales. Por ende, el incremento del nivel eustático del mar da cuenta de sólo el 10-15% del RSLR total. Si los humedales de los deltas no tienen una acumulación vertical de la misma proporción que la del RSLR se verán presionados por el anegamiento y la presión de sal, y a la larga desaparecerán.

Históricamente las marismas se construían hacia arriba por medio de la mezcla de tierra orgánica que se formaba *in-situ* y los sedimentos minerales atrapados. No obstante, la producción orgánica con frecuencia no es suficiente para que la acumulación vertical de las marismas siga el ritmo de los niveles de hundimiento. En general, sólo las marismas al lado de los arroyos, y que están sujetas al desbordamiento del agua ocasionada por la marea reciben el suficiente sedimento mineral para mantenerse a sí mismas. Mientras que las tasas de hundimiento preponderantes se estiman en 12 a 13 mm anuales en el delta del Misisipi, las mediciones de las tasas de acumulación de las marismas tierra adentro han sido de sólo 6.7 a 7.8 mm anuales (DeLaune *et al.* 1978 1983, Hatton *et al.* 1983). En otras palabras, las marismas que se encuentran tierra adentro de la orilla de los cuerpos de agua generalmente no pueden mantener el ritmo de los procesos combinados de hundimiento y crecimiento del nivel del mar, y como consecuencia se están sumergiendo y rompiendo con rapidez (Day *et al.* 2000).

DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El deterioro de la calidad del agua constituye un problema en el delta en dos niveles. Muchas aguas y vías acuáticas del delta están enriquecidas con nutrientes; las fuentes de estos nutrientes son puntuales (por ejemplo, aguas negras provenientes de plantas de tratamiento que son manejadas de manera inadecuada) y no puntuales (escurrimiento urbano y agrícola). Además del control y tratamiento inadecuados de la fuente, la eliminación y canalización de humedales ha exacerbado el problema. La mayoría del escurrimiento hacia tierras altas corría por los humedales antes de llegar a los cuerpos de agua, lo que provocaba una reducción de nutrientes, pero ahora el escurrimiento corre directamente a los cuerpos de agua. El uso de humedales como filtros para mejorar la calidad del agua es un enfoque económico y ambientalmente amigable (por ejemplo, Breaux y Day 1994, Zhang *et al.* 2000).

HIPOXIA

Otro problema de calidad del agua que ha recibido mucha atención es el de las condiciones hipóxicas severas y persistentes que se presentan cada temporada (condiciones de oxígeno poco disuelto en aguas profundas, generalmente de <2 mg/L), y que se han medido en la plataforma continental de la parte norte del Golfo de México durante la última década. La extensión del área de la zona de hipoxia ha abarcado entre 13,000 y 18,000 kilómetros cuadrados, entre 1993 y 1999 (Rabalais *et al.* 1996, 1998, 1999). La hipoxia está parcialmente relacionada con la descarga del río Misisipi, que tiene niveles elevados de nutrientes, especialmente de nitratos. Se han establecido vínculos entre el flujo de agua dulce del río Misisipi (y el subsecuente flujo de nutrientes) y la productividad neta de la superficie y deficiencia de oxígeno en aguas profundas (Rabalais *et al.* 1991, Justic *et al.* 1995, Brezonik *et al.* 1999, Rabalais *et al.* 1996, 1999, Diaz y Salow 1999). Hay quienes sugieren que la hipoxia puede tener efectos potencialmente adversos sobre la biota de la parte norte centro del Golfo (Turner y Allen 1982, Rabalais *et al.* 1991, Bierman *et al.* 1994, Justic *et al.* 1996, 1997, Diaz y Salow 1999), pero hasta ahora, las pesquerías no se han visto afectadas (Diaz y Salow 1999). Mitsch *et al.* (2001) propusieron recientemente una serie de prácticas de manejo para la cuenca del Misisipi, que si se realizan en conjunto pueden reducir de

manera significativa el flujo de nitrógeno al Golfo de México. Éstas incluyen cambios en las prácticas agrícolas, el uso de humedales en la cuenca de drenaje para reducir la entrada de nitrógeno en el río Misisipi, y desviaciones fluviales en el delta.

GOBERNABILIDAD ACTUAL DEL DELTA

ANTECEDENTES

Las actividades del delta del Misisipi son gobernadas por una combinación de organismos federales, estatales y locales, en donde las autoridades federales de navegación y control de inundaciones realizan la reglamentación primaria de la hidrología fluvial. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica (en lo sucesivo, el Cuerpo) es la Agencia federal encargada de la responsabilidad primaria de administrar el río Misisipi de acuerdo con los intereses nacionales. El Cuerpo también tiene la autoridad de otorgar permisos para todas las actividades que tengan un impacto en las aguas y humedales costeros, al igual que el estado de Luisiana. Ya desde la década de 1870, el Cuerpo comenzó a construir diques y espigones en el río, con el fin de aumentar la velocidad de la corriente y de prevenir inundaciones. Después de la gran inundación de 1927, aumentó considerablemente la construcción de diques a lo largo del río, y actualmente tiene diques en casi la totalidad de su extensión. Los asuntos ambientales aparecieron por primera vez a principios de la década de 1970, cuando se hizo evidente que había una pérdida de humedales (Gagliano y Van Beek 1975, 1976) y que dicha pérdida probablemente estaba asociada con la forma en la que se estaba manejado el río aunque esto ya se había observado con anterioridad (Viosca 1927).

POLÍTICAS FEDERALES EXISTENTES DE NAVEGACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES QUE AFECTAN AL DELTA DEL MISISIPI

La política federal relativa a la navegación y al control de inundaciones del río Misisipi tiene sus orígenes en la historia del desarrollo del río. Los seres humanos han buscado maneras de controlarlo desde que Bienville ordenó a su ingeniero que construyera diques a principios del siglo XVIII para proteger la ciudad de Nueva Orleans, incluso durante su fundación, y la construcción de éstos sigue hasta nuestros días. Los primeros diques se constru-

yeron con financiamiento local, eran irregulares y a menudo se derrumbaban durante las inundaciones en primavera. A partir de 1917, se autorizó el uso de fondos federales directamente para propósitos de control de inundaciones, en un esquema cooperativo en que dos terceras partes serían proporcionadas por el gobierno federal y una tercera parte, por el gobierno local. En 1927, una de las inundaciones más grandes que afectaron a Luisiana abrió una brecha en los diques e inundó 60,000 km², (23,000 mi²). El daño fue extenso y se perdieron 414 vidas. Al año siguiente, el Congreso norteamericano reconoció que era de interés nacional prevenir inundaciones del Misisipi, por lo que autorizó el proyecto de control de inundaciones del río Misisipi y sus tributarios (Ley del 15 de mayo de 1928, Septuagésimo Congreso), para proporcionar un plan completo de control de inundaciones. La implantación fue financiada en su totalidad con fondos federales. El plan incluía provisiones en las que el desbordamiento de las inundaciones sería desviado hacia el río Atchafalaya y los lagos del mismo nombre, así como a otras cuencas en Luisiana.

La elección de diques lineales que confinaran el río para proporcionar protección contra inundaciones quizás se haya visto influenciada por la anterior preocupación que sentía el Cuerpo por la navegación. A lo largo de la historia de este país, se ha librado una batalla para mantener la desembocadura del río abierta a la navegación, utilizando en un principio sistemas de dragado (Houck 1983). James B. Eads, quien previamente había construido el primer puente sobre el río Misisipi en Saint Louis, propuso una solución novedosa, que implicaba la construcción de diques y espigones para controlar el río, para disminuir la magnitud del terreno inundado y así aumentar la tasa de flujo del río; de esta manera éste erosionaría su propio cauce y mantendría un canal abierto para la navegación. Su proyecto se terminó en 1878, y funcionó, por lo menos desde el punto de vista del dragado pues los diques lineales construidos a lo largo de la parte baja del río, aparentemente solucionaron tanto las inundaciones como los problemas de navegación. El represamiento del río se convirtió en el procedimiento aceptado para su manejo, y desde entonces esa estrategia ha sido codificada dentro de la ley y políticas subsecuentes. No obstante, algunas de las otras alternativas que se propusieron pudieron haber prevenido también pérdidas ambientales (Viosca 1927).

Una parte relativamente nueva del esquema de gobernabilidad federal es la *Coastal Wetlands Planning, Protection and Restoration Act (PL 101-646, Title III; "Breaux Act")* [Ley de planeación, protección y restauración de los

humedales costeros (PL 101-646, Título III; “Ley Breaux”) de 1990, que creaba un grupo de trabajo que incluía cinco organismos federales y el estado de Luisiana, presidida por el Cuerpo, para desarrollar un “enfoque integral para restaurar y prevenir la pérdida de humedales costeros en Luisiana”. Mediante este mecanismo es posible lograr cierta integración intersectorial u horizontal para planear y manejar el delta. El grupo de trabajo revisa y financia proyectos con 85% de fondos federales y 15% de fondos estatales y es el único esquema intersectorial e interinstitucional en el que participan más de una agencia que opera en el delta del Misisipi, y el que más se acerca a ser integral. Sin embargo, el grupo de trabajo no necesariamente ha visto al delta como un sistema, y su enfoque no incluye todos los usos. La implantación de múltiples proyectos y gastos de cientos de millones de dólares a lo largo de diez años no ha tenido un efecto perceptible en las altas tasas de pérdida de humedales en Luisiana, salvo donde se han construido desviaciones fluviales o donde se han construido humedales con material producto del dragado. Toda la discusión anterior se centra en la hidrología, es decir, en la cantidad de agua. La calidad de agua la regulan principalmente los estados coordinados por una delegación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (EPA, por sus siglas en inglés).

El estado de Luisiana ha desarrollado e implementado un programa de manejo costero (aprobado por el gobierno federal en 1980) que, de manera conjunta con el Cuerpo, permite actividades que impactan los recursos costeros. El programa tiene su sede en el Departamento de Recursos Naturales de Louisiana, que también es responsable de promover el desarrollo petrolífero y gasífero en el estado. El programa otorga permisos para actividades en el área costera que afectan el agua y los humedales, que abarcan el delta del Misisipi. Dichas actividades incluyen actividades petrolíferas y gaseras, recreación, dragado, descarga de materiales de desecho, relleno limpieza, canalización, etc. Los gobiernos locales pueden desarrollar sus propios programas de manejo costero y, una vez que éstos sean aprobados por el estado, pueden dar permiso para que se lleven a cabo “actividades locales” de menor escala que tengan menos impactos que las reguladas por el estado.

Además del Departamento de Calidad Ambiental de Luisiana, que tiene autoridad sobre la calidad del agua, se tienen otros que tienen autoridad sobre los usos agrícolas y acuícolas del delta, así como los recursos de vida silvestre y pesquerías, además de las áreas protegidas. El Departamento de

Recursos Naturales de Luisiana, que es la agencia local de administración costera, ha desarrollado un plan integral para reducir las pérdidas de humedales (Coast 2050); en la actualidad busca implementarlo a través del grupo de trabajo de la Ley Breaux y se enfrenta con los habituales problemas entre organismos y con conflictos entre gobiernos. El plan más reciente para la restauración del delta es el plan del Área Costera de Luisiana (LCA, por sus siglas en inglés), que es un esfuerzo integral con un costo de entre 10 y 15 mil millones de dólares para restaurar el delta a lo largo de un periodo de 30 años.

El tema reciente de la hipoxia en la plataforma continental del delta, provocada por un exceso de nutrientes que provienen principalmente de la agricultura tierra adentro, ilustra la falta de planeación, administración y gobernabilidad de la cuenca de drenaje del río Misisipi. Los nutrientes entran al río como escurrimiento, principalmente de sembradíos agrícolas en la región central de los Estados Unidos de Norteamérica, y de otras fuentes dispersas. Al llegar al delta y a la plataforma continental adyacente, los nutrientes provocan la eutrofización y una pérdida de oxígeno (hipoxia) de las aguas profundas, que puede producir la muerte de peces y reducir la productividad. Aunque la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica, y los organismos estatales, tienen la responsabilidad primordial de reglamentar dichas fuentes, es difícil enfrentar el problema de los nutrientes pues cruza límites estatales. Diversos grupos de trabajo han estudiado el tema (Bresonik *et al.* 1999, Diaz y Solow 1999, Goolsby *et al.* 1999, Rabalais *et al.* 1999), y hay un creciente consenso de que la solución a este problema se encuentra en una combinación de factores que incluyen cambios en las prácticas agrónomas y restauración y creación de humedales a lo largo de la cuenca (por ejemplo, Mitsch *et al.* 2001).

RESPUESTAS INSTITUCIONALES EN LOUISIANA

El manejo costero y de humedales en Luisiana es muy complejo. Los organismos federales, estatales y públicos, así como los grupos privados (propietarios de tierras, deportistas, pescadores comerciales, tramperos, explotadores de recursos no renovables y ambientalistas) están involucrados en el proceso de manejo. Además, a lo largo de los últimos cincuenta años o más, el manejo ha sido llevado a cabo por diversas razones (por ejemplo, incremento y restauración de los humedales, acuicultura, incremento de aves acuáticas, control de acceso a la tierra, manejo de mamíferos y producción maderera y mineral). Sólo en los últimos 10 a 20 años es que el manejo

se ha enfocado plenamente en el problema de la pérdida de tierra y RSLR, y algunas de las técnicas utilizadas o propuestas para enfrentar el problema de la pérdida de tierra fueron originalmente desarrolladas para otro propósito relacionado con el manejo de humedales. Además de las actividades dirigidas específicamente al manejo costero y de humedales, otras actividades, como la protección contra inundaciones y la extracción de minerales, también han tenido un gran impacto en la pérdida de humedales, ya que es posible que algunas de estas actividades, como el control de inundaciones, sean utilizadas como respuesta al aumento en el nivel del agua, por lo que es importante considerar su impacto en la pérdida de humedales en Luisiana.

Si se considera la presente tasa de hundimiento y el prospecto de futuros incrementos en la elevación eustática del nivel del mar, parece que algunas de las acciones de manejo pasadas han ido en contra de lo que se necesita para enfrentar el problema de la pérdida de humedales a largo plazo. Sin embargo, varios enfoques de manejo se han vuelto comunes porque han generado beneficios a corto plazo o no han mostrado daños inmediatos o perceptibles en el corto plazo (10 a 20 años). Los efectos del lento sumergimiento de humedales son graduales y acumulativos, y el tiempo de demora en la respuesta del sistema natural al RSLR puede tardar décadas. Por lo tanto, el efecto de las prácticas de manejo nocivas en la pérdida de humedales se vuelven aparentes de manera lenta. Como se expone en el siguiente párrafo, la gobernabilidad ha evolucionado hacia un plan integral y coordinado.

En el pasado han habido pocos esfuerzos y metas consistentes relacionadas con el río, y los mecanismos de coordinación entre los organismos eran débiles o no existían. Sin embargo, a lo largo de los últimos años, conforme se hizo evidente la magnitud del problema, se ha desarrollado un amplio consenso en el sentido de que se necesita de un gran esfuerzo coordinado para enfrentar la restauración del delta del Misisipi. Primero se desarrolló el Plan Coast 2050, que incluía varias acciones de manejo como desviaciones de ríos, restauración de barreras insulares y restauración hidrológica. En la actualidad se desarrolla un plan llamado el plan del Área Costera de Luisiana (LCA, por sus siglas en inglés); éste contempla un esfuerzo de 30 años de duración con un costo de entre 10 y 15 mil millones de dólares para revertir la pérdida de humedales en el delta. Al igual que Coast 2050, el plan LCA incluye desviaciones, restauración de barreras insulares, restauración hidrológica. Así mismo el Plan LCA también reconoce la necesidad de encarar los problemas a lo largo de la cuenca de drenaje del Misisipi. El manejo adaptable jugará un papel central en el LCA con un fuerte énfasis en el

monitoreo, modelado y la investigación aplicada basada en hipótesis y orientada a los procesos. En la actualidad se prepara el Plan LCA para presentarlo ante el Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica.

GRUPOS INTERESADOS EN LA PÉRDIDA DE HUMEDALES

Existen muchos grupos con diversos intereses implicados en la restauración del delta del Misisipi, lo que dificulta la tarea. Los humedales son de gran interés debido a que constituyen parte de la base de la cadena alimenticia, o proporcionan hábitat para casi todas las especies de las pesquerías comerciales que se obtienen del Golfo de México, por lo que los pescadores y quienes dependen de los productos pesqueros (por ejemplo, restaurantes y el turismo centrado alrededor de New Orleans). Los tramperos también tienen intereses porque las especies objetivo tienden a ser especies endémicas de los humedales. Los propietarios de tierras se ven afectados porque si su tierra se sumerge, se pierden algunos usos, y las tierras sumergidas, pueden pasar a ser propiedad del estado. Quienes practican la caza y pesca recreativa también dependen en gran medida de los humedales, lo que los agrega a la lista de interesados en la pérdida de humedales. Quienes han invertido en el delta en el proceso de hundimiento constituyen un grupo de interés porque se ven obligados a gastar dinero para proteger sus inversiones para no perderlas. Estos inversionistas incluyen las industrias petrolera y petroquímica, así como las industrias de navegación y de embarque. El público también es un grupo interesado porque los humedales proporcionan muchos beneficios que no han sido capturados por los mercados (por ejemplo, protección contra inundaciones para New Orleans y otras comunidades del sur de Luisiana, mejoras en la calidad del agua, almacenamiento de agua, intercambio de gas, separación de carbono, etcétera). Los gobiernos (federal, estatal y local) también constituyen un grupo interesado porque tendrán que gastar más en el control de inundaciones, en reparación de caminos que se hunden, y en tratamiento de la calidad del agua y protección de la infraestructura. Resulta muy claro que la participación de estos grupos interesados en la pérdida de humedales es de suma importancia en el proceso de manejo de restauración del delta.

Otro problema que complica la administración de los humedales en el delta del Misisipi es la propiedad de la tierra. Los patrones de propiedad de la tierra se caracterizan por ser un mosaico de propiedades públicas y privadas que rara vez coinciden con cuencas de drenaje naturales. Por lo tanto, los planes de manejo a menudo se formulan para unidades basadas en la

propiedad, aun cuando la mayoría de los administradores de recursos estarían de acuerdo en que sería más adecuado utilizar unidades naturales, como por ejemplo cuencas de drenaje. Los temas relacionados con la propiedad de la tierra han sido un factor que ha complicado el manejo de los humedales a nivel mundial (Day *et al.* 1989).

La mayoría de los humedales ubicados en el delta del Misisipi son propiedad privada, y el objetivo de los propietarios de tierras no necesariamente coincide con el de los públicos o con el de una restauración integral respaldada científicamente. Aunque los humedales tienen un gran valor ecológico, sólo parte de este valor puede transformarse en valor económico para el propietario de la tierra. Por lo tanto, un propietario puede optar por administrar sus recursos para obtener un rendimiento económico inmediato (aves acuáticas o animales de pelaje), en lugar de administrarlos planteando objetivos valiosos para la sociedad en general (limpieza de agua, exportación de materia orgánica, o hábitat para las especies de las pesquerías). Un problema particular que enfrentan los propietarios de tierras en Luisiana, es el de los ingresos relacionados con la producción de gas y petróleo. Si los humedales se deterioran hacia el agua, el área puede volverse pública y el propietario de tierra pierde ingresos por cualquier producción mineral. Aunque este tipo de deterioro rara vez ha ocurrido, sigue siendo un factor importante en la toma de decisiones de los propietarios de tierras. Así, un propietario de tierra puede sentirse obligado a escoger entre un camino que asegure el reconocimiento de los derechos minerales, y uno que sea benéfico para la conservación de los humedales. Por ejemplo, una manera en la que un propietario puede definir los límites de propiedad es con un sistema de diques bajos, sin embargo, esto tiene el inconveniente de que los diques pueden bloquear la entrada de sedimento que nutre a los humedales. A la inversa, una estrategia sin diques que maximice la entrada de sedimento y mantenga una mayor área de humedales también podría dar lugar a la erosión provocada por el oleaje de los humedales a lo largo de la interfase agua-humedal y a una pérdida neta de propiedad para el titular de la tierra.

Debido a esta complicada matriz de grupos de interés con perspectivas tan variadas sobre los recursos costeros, resulta imperativo que todos estos grupos estén involucrados en la restauración del delta. Este es un problema de enormes proporciones que debe ser enfrentado pronto, pues de lo contrario la restauración será mucho más difícil.

Con el tiempo, la gobernabilidad del delta del Misisipi ha evolucionado para responder a las necesidades de su manejo. Durante muchos años, las políticas federales y los acuerdos institucionales resultantes estuvieron dedicados, de manera casi exclusiva, a los recursos fluviales de navegación y control de inundaciones, y éste es uno de los factores más importantes conducentes al deterioro del delta del Misisipi. Históricamente, el manejo se ha concentrado en el represamiento del río brindando poca atención a la resolución del problema ambiental. Diversos estudios técnicos recientes han revelado que el manejo anterior está vinculado directamente con el deterioro del delta.

Aun identificadas las causas, las disposiciones y los acuerdos institucionales para manejar el delta del Misisipi han sido inadecuadas debido, en principio, a que la mayor parte de los organismos tienen un enfoque primario. Por ejemplo, el Cuerpo se ha dedicado, tradicionalmente, a la navegación y al control de inundaciones mientras que el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas ha resuelto asuntos pertinentes a las zonas pesqueras. Por su parte, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos se ha ocupado principalmente, de los asuntos relacionados con el hábitat y a la vida silvestre, en tanto que la calidad del agua es un tema preponderante para la EPA. Estos organismos gubernamentales han expandido los límites de su autoridad a fin de abordar con mayor amplitud el tema de la restauración del delta. Un ejemplo son las desviaciones fluviales que emergen como una posible herramienta primaria para la restauración. Dichas desviaciones responden al hecho de que las actividades de navegación y control de inundaciones son factores importantes para la pérdida de humedales costeros. Asimismo, las desviaciones introducen gran cantidad de nutrientes en las aguas costeras y pueden dar origen a regímenes de salinidad inadecuados para la producción de las pesquerías.

Otra limitante del actual mecanismo de manejo ha sido la insuficiente valoración de las consecuencias que tienen las medidas de manejo a largo plazo. Si en un principio los efectos son mínimos y el cambio es lento, a la larga las estrategias para resolver los problemas y síntomas iniciales pueden empeorar la situación. Por ejemplo, es posible proponer el represamiento parcial y el rescate como respuesta al crecimiento del nivel del mar, pero la reducción del influjo de sedimentos podría reducir más la tasa de acumulación vertical en los humedales, volviendo cada vez menos eficaz el drenaje por gravedad.

En conclusión, el problema radica en las políticas, a veces contradictorias, que pretenden mantener el actual cauce del río Misisipi en beneficio de

la navegación y al mismo tiempo, conservar los humedales como hábitats para pesquerías y otras formas de vida silvestre. Es difícil lograr ambos objetivos si no se adopta una estrategia de manejo más amplia, completa e integral. Las dos formas de aprovechamiento del río son fundamentales para el interés nacional, por ello la solución al problema estriba en modificar la política federal mediante una acción congresista y la revalorización de manera realista de las opciones disponibles que puedan mantener la navegación y el control de inundaciones sin sacrificar los humedales del sur de Luisiana.

INSTRUCCIONES PARA UNA MEJOR MANEJO

Según las condiciones del proyecto LCA, se ha diseñado una completa estrategia para resolver los problemas antes citados y desarrollar un ambicioso programa para la restauración del delta. En esta sección analizaremos, en términos generales, algunos de los aspectos que dicho programa habrá de contemplar.

REDEFINICIÓN DE OBJETIVOS

El enfoque histórico puesto en la navegación y el control de inundaciones deberá modificarse para incluir, en igualdad de condiciones, la restauración del delta. Aunque mucho se ha hablado sobre el asunto, aún no se han aplicado proyectos de restauración eficaces. El control de inundaciones por medio de la construcción de diques no debe eliminar la distribución de los sedimentos ni la entrada de agua dulce a los humedales costeros ya que estas entradas son necesarias para contrarrestar el hundimiento y el incremento de salinidad. Es necesario que la planeación integral tome en cuenta estrategias alternativas para proteger las áreas desarrolladas en la zona costera y así asegurar la entrada de sedimentos y agua; por ejemplo, mediante la construcción de diques circundantes y canales para controlar inundaciones. Por último, es necesario comprender que el control de inundaciones mediante drenaje por gravedad será cada vez menos viable si no se eleva el nivel del suelo. A fin de conservar las áreas donde los niveles de agua fueron inicialmente controlados mediante drenaje por gravedad, será indispensable recurrir al drenaje por bombeo que es mucho más costoso.

DESVIACIONES FLUVIALES HACIA MARISMAS DETERIORADAS

Hace más de dos décadas, cuando se proyectaron inicialmente las desviaciones de agua dulce en Luisiana, el objetivo principal consistió en reducir la salinidad para fomentar la producción de ostras en las regiones circundantes (Chatry *et al.* 1983, Chatry y Chew 1985). En fechas recientes, para contrarrestar RSLR (Day y Templet 1989, Day *et al.* 1997, 2000), se ha recurrido cada vez más a las desviaciones como estrategia para llevar sedimentos y nutrientes hacia los humedales. Algunas investigaciones recientes, indican que las desviaciones han conducido a una mayor acumulación y a una creciente productividad en las marismas y mayores capturas pesqueras (Day *et al.* 1997, Lane *et al.* 1999). Aunque existe la inquietud de que los nutrientes del agua desviada pueden conducir a la eutrofización, Lane *et al.* (1999, 2001 a, b) han demostrado que hay una rápida reducción de nitrógeno y otros nutrientes conforme el agua desviada fluye hacia los humedales y otros cuerpos de agua someros.

Las desviaciones, aunadas a ciertas medidas de manejo complementarias como la restauración la hidrología natural y el aumento la barrera insular, retrasarían y podrían revertir el problema de la pérdida de tierras en la planicie del delta. La implantación de muchas de estas alternativas requiere de importantes cambios en las políticas congresistas con respecto al manejo del río Misisipi, cambios que pretende crear el proyecto LCA.

USO DE LA ENERGÍA NATURAL

El proyecto de restauración del delta deberá maximizar el uso de fuentes de diferentes tipos de energía natural, como la productividad vegetal, los vientos, las corrientes fluviales y las mareas. Por ejemplo, en la medida de lo posible, habrá que utilizar las corrientes para distribuir los sedimentos: la vegetación deberá incrementarse para favorecer una mayor formación de tierra orgánica y así elevar la acumulación vertical. Este principio de ingeniería ecológica sugiere el uso de pequeñas cantidades de energía de los combustibles fósiles para canalizar flujos de energía natural mucho mayores (Odum 1971, Mitch y Jorgenson 2003). Un ejemplo del uso de energía natural es el análisis energético de la cuenca del río Misisipi, el cual reveló que aunque el ahorro de energía favoreció a la navegación y al desarrollo que se llevó a cabo gracias a los diques fluviales, las pérdidas totales del sistema energético fueron mayores (Odum y Diamond 1985). Lo anterior implica que el estado y la nación obtendrán mayores beneficios si el

agua y los sedimentos del río se aprovecharan de manera constructiva para nutrir los humedales, sin necesidad de sacrificar la navegación y protegiendo a la vez el desarrollo. Mitsch y otros (2001) demostraron que la restauración de humedales en toda la cuenca del Misisipi también podría ayudar a solucionar el problema de la escasez de oxígeno en el Golfo de México.

Los problemas del deterioro de la calidad del agua también pueden abordarse mediante el uso de energía natural. Las aguas costeras de tierra adentro reciben una elevada carga de nutrientes derivada del escurrimiento agrícola y urbano de fuentes no puntuales, así como de fuentes puntuales como aguas negras y desechos industriales (por ejemplo, agua de desecho procedente del procesamiento de mariscos). Con anterioridad, las fuentes puntuales se resolvían con el tratamiento convencional de aguas de desecho, que tiene un alto costo y se consume una gran cantidad de energía. No obstante, las aguas de desecho pueden tratarse utilizando humedales naturales, los cuales asimilan nutrientes y materia orgánica del agua de desecho y mejoran la calidad del agua, aumentan la productividad e incrementan la acumulación vertical (Breux y Day 1994, Hesse *et al.* 1998, Zhang *et al.* 2000, Rybczyk *et al.* 2002). Numerosos estudios de asimilación en los humedales de Luisiana han demostrado que éste es un proceso rentable y energéticamente eficaz (Cardoch *et al.* 2000, Ko *et al.* 2004).

Además, los problemas de calidad del agua ocasionados por la alteración de la hidrología pueden resolverse provocando que la mayor parte del escurrimiento de las tierras altas fluya a través de los humedales, restaurando su hidrología antes de llegar a los cuerpos de agua. Los humedales son lavaderos naturales de nutrientes (Hatton *et al.* 1982, Sharp *et al.* 1982, Reddy *et al.* 1993) y por ello, ofrecen un mecanismo viable para reducir la carga de nutrientes del agua fluvial antes que llegue al mar. De tal suerte, la calidad del agua mejora con la restauración de la hidrología y un mayor contacto con los humedales.

PLANEACIÓN INTEGRADA

Para mejorar el manejo del delta del Misisipi hace falta una planeación integrada en los niveles local, de cuenca y nacional. Tal es la finalidad del proyecto LCA. A fin de apoyar la planeación integrada, habrá que diseñarse un amplio acuerdo institucional para: (1) promover un mayor intercambio de información entre los diversos grupos interesados en el problema (por ejem-

plo, dueños de tierras particulares, pescadores, etc.) y las numerosas dependencias gubernamentales, a fin de lograr una mayor comprensión del funcionamiento del complejo ecosistema y las consecuencias de las opciones de manejo, (2) apoyar estudios holísticos sobre pérdida de humedales, deterioro de la calidad del agua y relación entre los ecosistemas naturales y las actividades económicas del hombre, y (3) analizar las repercusiones a largo plazo, como el cambio global en el manejo del delta del Misisipi. El cuadro 3 presenta algunos de los elementos propuestos para dicho proyecto. La solución a los problemas derivados de las prácticas poco sistemáticas y a corto plazo, ha de consistir de una estrategia integrada que adopte un enfoque global a largo plazo sobre la pérdida de humedales, incluido RSLR. Además de la extensa planeación, hace falta un fuerte liderazgo que se ocupe de implantar las decisiones políticas y de reglamentación.

CUADRO 3. PROPUESTAS PARA EL MANEJO DEL DELTA DEL MISISIPÍ

Objetivo	Manejar la parte baja del delta y la cuenca del río Misisipi de manera que permita revertir la pérdida de humedales costeros y resolver los problemas de calidad del agua, sin sacrificar la navegación y el control de inundaciones.
Política	Utilizar agua, sedimentos y nutrientes del río Misisipi para rellenar y nutrir los humedales, manteniendo la calidad del agua mediante la retención de nutrientes.
Estrategia	Utilizar desviaciones para distribuir el agua del río Misisipi hacia la planicie del Delta. Los encargados del manejo deberán tomar en consideración aspectos como salinidad, necesidad de sedimentos y captación de nutrientes.
Tácticas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar la corriente del río Atchafalaya y mejorar la hidrología del sistema Atchafalaya, a fin de elevar el flujo a través de los humedales. 2. Aprovechar la fuerza de la corriente del manantial del río Misisipi para arrastrar sedimentos a la superficie de la marisma. Aprovechar la fuerza de la corriente natural para mejorar la sedimentación en la marisma. 3. Aprovechar antiguos tributarios del río Misisipi para desplazar agua y sedimentos hacia los humedales de la planicie del delta. 4. Analizar la posibilidad de desviar la navegación fuera del delta bajo (Birdfoot) mediante un sistema de esclusas y favorecer una hidrología más natural en el delta bajo mediante un mayor desbordamiento de sus riberas. 5. Utilizar soleras de poca altura en los diques del bajo río Misisipi para conducir aguas de la corriente del manantial hacia los humedales adyacentes. 6. Aprovechar la carga del lecho del río Atchafalaya para incrementar la regeneración del delta en la bahía Atchafalaya.

(Continúa)

7. Crear múltiples desviaciones pequeñas en los canales principales, a fin de desplazar agua, con mayor eficacia, hacia los humedales que empiezan a hundirse.
 8. Aprovechar la reducción en la extensión del canal, la restauración de la barrera insular y las estrategias de regulación para complementar y mejorar la eficacia de las desviaciones.
 9. Utilizar vías fluviales artificiales, como la Vía fluvial intercostera del Golfo, a modo de canales laterales que desplacen agua a través de y entre las cuencas.
-

Como ejemplo de la planeación integrada utilizaremos el caso del aumento del nivel del mar. Es posible que en los próximos 50 años ocurra un incremento significativo, de modo que es imperativo formular proyectos integrados, a largo plazo y en diversas escalas. Al planificar la respuesta institucional para contrarrestar las consecuencias del creciente nivel del mar en los ecosistemas costeros, habrá que considerar diversos factores, en particular los relevantes a la oportunidad y pertinencia de las acciones (Day y Templet 1989, Day *et al.* 1997). Es muy factible que se observe una demora considerable (décadas o más) antes que los efectos del aumento en el nivel del mar sean evidentes, y también es probable que se incremente la velocidad del cambio. En consecuencia, hay que adoptar medidas tempranas aun cuando no sean aparentes la necesidad ni la culminación de la secuencia de acontecimientos conducentes a la pérdida de tierra. Todos los programas o proyectos federales pertinentes a los esfuerzos de planeación, deberán tomar en cuenta las consecuencias del aumento en el nivel del mar. Los gobiernos estatales habrán de emitir lineamientos al gobierno local, a fin de regular el uso de tierras mediante zonificación, excedentes de medición, estándares de subdivisión, instalación de alcantarillado y otros servicios, drenaje y control de inundaciones.

Los organismos estatales para el manejo de la zona costera también pueden tomar la iniciativa en los esfuerzos de planeación, debido a que las consecuencias inmediatas se pondrán de manifiesto en las áreas costeras y a que los mandatos de los organismos estatales para la zona costera suelen ser más generales que las directivas tradicionales de las dependencias para sectores individuales. Asimismo, las dependencias de manejo costero ya creadas pueden incluir información y sugerencias de mitigación dentro de los procedimientos existentes para el otorgamiento de permisos, a fin de compensar algunos efectos del aumento en el nivel del mar (Coastal Society 1986). Estos distintos niveles de planeación deberán tener cierto grado de

integración. En la medida de lo posible, deberá evitarse que los propietarios de tierras particulares se vean en situaciones en que una decisión deletérea para los recursos naturales beneficie sus intereses económicos. Los propietarios de tierras podrían recibir una forma de compensación (como una exención fiscal) para compensar las medidas de manejo que no redunden en beneficios económicos inmediatos para sus intereses personales. Estas consideraciones indican la importancia de la planeación coordinada. Sería mucho mejor administrar la zona costera con base en unidades de paisaje natural pues en muchos sentidos, los problemas relacionados con la posesión de tierras podrían complicar los esfuerzos para combatir los efectos del aumento del nivel del mar. Desde la perspectiva política y legal, resulta mucho más sencillo implantar proyectos de manejo fundamentados en unidades de paisaje definidas por la propiedad. Sin embargo, el manejo de ecosistemas, en particular el caso de los humedales, es mucho más eficaz cuando se basa en unidades de paisaje natural, como las cuencas de drenaje. Con seguridad, los diferentes propietarios tendrán distintos objetivos de manejo para sus tierras. Es posible que algunos prefieran administrar recursos que proporcionen un provecho económico directo (como animales de pelaje comercial, o aves acuáticas), en vez de redundar en el beneficio público general. Por ende, el asunto de la posesión de tierras debe incluirse como un elemento primario de la planeación integral.

El desarrollo de áreas de poca altura presenta problemas especiales pues, conforme aumenta el nivel del mar, cada vez será más difícil conservar esas zonas. A largo plazo, la construcción de diques y el drenaje de turberas agravarán el hundimiento. En cuanto a las áreas agrícolas, el sistema de cultivos rotatorios, que introduce sedimentos fluviales en campos específicos, podría promover la acumulación y contribuir a la fertilización de cultivos. Los cultivos de alta biomasa también son importantes para promover la acumulación vertical, a condición de que se permita el depósito de materia orgánica. Las técnicas para controlar la erosión mediante cubiertas vegetales, áreas de barbecho y agricultura sin labranza, podrían contribuir a una menor erosión y a una mayor acumulación. Como se señaló anteriormente, la eficacia del drenaje por gravedad tiene una duración relativamente corta en zonas donde los niveles de agua van en aumento, mientras que el drenaje por bombeo no suele ser factible en áreas agrícolas y sólo se ha sostenido en las regiones de gran explotación agrícola de naciones desarrolladas como Holanda.

Adicionalmente, el monitoreo y la planeación coordinada en el delta

del Misisipi deberán incluir información de otras áreas costeras del mundo, sobre todo de los deltas. El delta del Misisipi es el único delta de gran tamaño en el territorio continental de Estados Unidos de Norteamérica y en consecuencia, es necesario obtener información de los deltas de otras naciones donde existan condiciones y problemas similares (por ejemplo, Day *et al.* 1997). Algunas áreas posibles incluyen los deltas de otros ríos y áreas costeras importantes: Grijalva-Usumacinta, Ebro, Po, Nilo, Camarguc, Danubio, Rin, Ganges y Bahía Chesapeake. El modelado puede ser una poderosa herramienta para evaluar los impactos de diferentes prácticas de manejo en el delta del Misisipi.

CONCLUSIÓN

El problema del deterioro del delta del Misisipi es producto de un trastorno en el funcionamiento natural del sistema. Dos impactos importantes fueron la separación de la planicie deltaica del cauce del río, y la generalizada alteración hidrológica del delta. A fin de resolver estos problemas, es necesaria una política integral que incluya tanto al delta cuanto a la cuenca de drenaje. La reconexión del río con el delta debe ser el componente esencial para la restauración del área. El proyecto LCA para restaurar el delta del Misisipi incluye muchos de estos elementos, pero se requiere de una mayor participación por parte de los grupos interesados en el problema, y un programa integrado para toda la cuenca.

RECONOCIMIENTOS

Este esfuerzo ha recibido el apoyo del Manejo Nacional Oceánico y Atmosférico a través del *Luisiana Sea Grant College Program* (Programa Universitario de Becas Marinas de Luisiana (Beca NOAA No. NA16G2249), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, el Departamento de Recursos Naturales de Luisiana y el U.S Geological Survey. Agradecemos a los doctores Brian Pérez y Sijan Sapkota, y a Beth Vairin, todos del U.S. Geological Survey, por sus valiosos comentarios a este apartado.

BIBLIOGRAFÍA

- Barras, J. A. Bourgeois, y L. R. Handley 1994. *Land Loss in Coastal Louisiana, 1956-1990. National Biological Survey, National Wetlands Research Center Open File Report 94-01. 4 pp. 10 color prints.*
- Baumann, R. H. y R. E. Turner 1990. Direct impacts of outer continental shelf activities on wetland loss in the Central Gulf of Mexico. *Environmental Geology and Water Science* 15(3): 189-198.
- Bierman, V. J., S. C. Hinz, W. J. Wiseman, Jr., N. N. Rabalais, y R. E. Turner 1994. A preliminary mass balance model of primary productivity and dissolved oxygen in the Mississippi River plume/inner Gulf shelf region. *Estuaries* 17: 1-84.
- Boesch, D. A., M. J. Josselyn, A. J. Mehta, J. T. Morris, W. K. Nuttle, C. A. Simenstad, y D. J. Swift 1994. Scientific assessment of coastal wetland loss, restoration and management in Louisiana. *Journal of Coastal Research* Spc. Issue 20: 1-103.
- Boumanns, R. M. y J. W. Day, Jr. 1994. Effects of two Louisiana's marsh management plans on water and materials flux and short-term sedimentation. *Wetlands* 14: 247-261.
- Boynnton, W. R. 1982. 'A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production,' in V.S. Kennedy (ed.), *Estuarine Comparisons*. New York: Academic Press. Pp. 69-91.
- Breaux, A. M., y J.W. Day 1994. Policy considerations for wetland wastewater treatment in the coastal zone: a case for Louisiana. *Coastal Management* 22: 285-307.
- Brezonik, P. L., et al. 1999. *Effects of Reducing Nutrient Loads to Surface Waters within the Mississippi River Basin and the Gulf of Mexico: Topic 4 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series No. 18. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Office.
- Britsch, L., y J. Dunbar 1993. Land loss rates: Louisiana coastal plain. *Journal of Coastal Research* 9: 324-338.
- Cade, G. C. 1986. Increased phytoplankton primary production in the marsdiep area (Western Dutch Wadden Sea) Netherlands. *Journal of Sea Research* 20: 285-290.
- Cahoon, D. 1994. Recent accretion in two managed marsh impoundments in coastal Louisiana. *Ecological Applications* 4: 166-176.
- Cardoch, L., J. W. Day, J. M. Rybczyk, y G. P. Kemp 2000. An economic analysis of using wetlands for treatment of shrimp processing wastewater-a case study in Dulac, LA. *Ecological Economics* 33: 93-101.
- Chabreck, R. H., T. Joanen, y A. W. Palmisano 1968. *Vegetative Type Map of the Louisiana Coastal Marshes*. Louisiana Wildlife and Fisheries Commission, New Orleans, Louisiana.
- Chabreck, R. H. y G. Linscombe 1978. *Vegetative Type Map of the Louisiana Coastal Marshes*. Louisiana Wildlife and Fisheries, New Orleans, Louisiana.

- Chabreck, R. H. y G. Linscombe 1988. *Louisiana Coastal Marsh Vegetative Map 1988*. Louisiana Wildlife and Fisheries, Baton Rouge, Louisiana.
- Chatry, M., R. J. Dugas, y K. A. Easley 1983. Optimum salinity regime for oyster production on Louisiana state seed grounds. *Contributions In Marine Science* 26 (Sept): 81-94.
- Chatry, M., y D. Chew 1985. 'Freshwater diversion in coastal Louisiana: recommendations for development of management criteria,' in *Fourth Coastal Marsh and Estuary Management Symposium*. Pp.71-84.
- Coastal Society. 1986. *The Implications of Relative Sea Level Change on Coastal Decision Making*. Report of the Coastal Society's Northeast. Regional meeting, Oct. 2, 1986, Great Meadows National Wildlife Refuge, Lincoln, MA.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R. V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton, y M. van den Belt 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-60.
- Costanza, R., F.H. Sklar, y J.W. Day, Jr. 1986. 'Modeling spatial and temporal succession in the Atchafalaya/Terrebonne marsh/estuarine complex in S. La,' in D. A. Wolfe (ed), *Estuarine Variability*. New York: Academic Press.
- Craig, N. J., R. E. Turner, y J. W. Day, Jr. 1979. Land loss in coastal Louisiana (U.S.A.). *Environmental Management*. 3: 133-144.
- Day, J. W., D. Pont, P. F. Hensel, y C. Ibanez. 1995. Impacts of sea-level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries* 18: 636-647.
- Day, J. W., Jr., J.F. Martin, L. Cardoch, y P. H. Templet. 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems *Coastal Management* 25: 115-153.
- Day, J. W., Jr., R. Costanza, K. Teague, N. Taylor, G.P. Kemp, R. Day, y R.E. Becker. 1989. *Wetland Impoundments: A Global Survey for Comparison with the Louisiana Coastal Zone*. Final Report to Geological Survey Division, Louisiana Department of Natural Resources, Baton Rouge. 140 pp.
- Day, J. W., Jr., y P. H. Templet. 1989. Consequences of sea level rise: implications from the Mississippi Delta. *Coastal Management* 17: 241-257.
- Day, J. W., Jr., L. D. Britsch, S. R. Hawes, G. P. Shaffer, D. J. Reed, y D. Cahoon 2000. Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: a spatial and temporal analysis of wetland habitat change. *Estuaries* 23: 425-438.
- Day, R., R. Holz, y J.W. Day. 1990. An inventory of wetland impoundments in the coastal zone of Louisiana, USA: historical trends. *Environmental Management* 14: 229-240.
- DeLaune, R. D., W.H. Patrick, Jr., y R.J. Buresh. 1978. Sedimentation rates determined by Cs 137 dating in a rapidly accreting salt marsh. *Nature* 275: 532-33.

- DeLaune, R. D., R.H. Baumann, y J.G. Gosselink. 1983, Relationships among vertical accretion, apparent sea level rise and land loss in a Louisiana Gulf Coast marsh. *Journal of Sedimentary Petrology* 53: 147-157.
- Diaz, R., y A. Solow. 1999. *Ecological and Economic Consequences of Hypoxia: Topic 2 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Office.
- Gagliano, S. M., y J. L. van Beek. 1975. 'An approach to multiuse management in the Mississippi Delta system,' in M. L. Brossard (ed), *Deltas, Models for Exploration*. Houston, Texas: Texas Geological Society. Reprint.
- Gagliano, S. M., y J. L. Van Beek. 1976. 'Mississippi River sediment as a resource,' in R. S. Saxena (ed), *Modern Mississippi Delta - Depositional Environments and Processes, A Guide Book for the AAPG/SEPM Field Trip*, May 23-26. Reprint.
- Gagliano, S. M., K. Meyer-Arendt, y K. Wicker. 1981. Land loss in the Mississippi River deltaic plain. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies* 31: 295-300.
- Gornitz, V., S. Lebedeff, y J. Hansen. 1982. Global sea level trend in the past century. *Science* 215: 1611-1614.
- Goolsby, D. A., W. A. Battaglin, G. B. Lawrence, R. S. Artz, B. T. Aulenbach, and R. P. Hooper. 1999. *Flux and Sources of Nutrients in the Mississippi-Atchafalaya Basin: Topic 3 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series No. 17. Silver Spring, Maryland, NOAA Coastal Ocean Office.
- Hatton, R. S., W. H. Patrick, y R. D. DeLaune. 1982. 'Sedimentation, nutrient accumulation, and early diagenesis in Louisiana Barataria Basin Coastal Marshes. En: V. S. Kennedy (ed.). *Estuarine Comparisons*. Academic Press, New York .
- Hatton, R. S., R.D. DeLaune, y W.H. Patrick, Jr., 1983. Sedimentation, accretion and subsidence in marshes of Barataria Basin, Louisiana. *Limnology and Oceanography* 28: 494-502.
- Hesse, I. D., J. W. Day, Jr., y T. W. Doyle 1998. Long-term growth enhancement of baldcypress (*Taxodium distichum*) from municipal wastewater application. *Environmental Management* 22: 119-127.
- Houck, O. A. 1983. Land loss in coastal Louisiana: causes, consequences, and remedies. *Tulane Law Review* 58 (1): 3-168.
- Justic D., N. N. Rabalais, y R. E. Turner 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 30: 41-46.
- Justic, D., N. Rabalais, y R. Turner. 1996. Effects of climate change on hypoxia in coastal waters: A doubled CO₂ scenario for the Northern Gulf of Mexico. *Limnology and Oceanography* 41: 992-1003.
- Justic, D., N. Rabalais, y R. Turner. 1997. Impacts of climate change on net productivity of coastal waters: Implications for carbon budgets and hypoxia. *Climate Research*

- 8: 225-237.
- Kesel R. H. 1988. The decline in the suspended load of the lower Mississippi River and its influence on adjacent wetlands. *Environmental Geology and Water Sciences* 11: 271-281.
- Kesel, R. H. 1989. The role of the Mississippi River in wetland loss in Southeastern Louisiana, U.S.A. *Environmental Geology and Water Sciences* 13: 183-193.
- Ko, J.-Y., J. W. Day, R. R. Lane, y J. N. Day 2004. A Comparative Evaluation of Cost-Benefit Analysis and Embodied Energy Analysis of Tertiary Municipal Wastewater Treatment Using Forested Wetlands vs. Sand Filtration in Louisiana. *Ecological Economics* 29: 463-472.
- Lane, R., J. Day, y B. Thibodeaux 1999. Water quality analysis of a freshwater diversion at Caervarvon, Louisiana. *Estuaries* 22: 327-336.
- Lane R, J. Day, G. P. Kemp, y D. Demcheck 2001a. The 1994 experimental opening of the Bonnet Carre Spillway to divert Mississippi River water into Lake Ponchartrain, Louisiana. *Ecological Engineering* 17: 411-422.
- Lane, R., J. Day, B. Marx, E. Reyes, y G. P. Kemp. 2001b. Seasonal and spatial water quality changes in the outflow plume of the Atchafalaya River, Louisiana, USA. *Estuaries* 25: 30-42.
- LCWCRTF [Louisiana Coastal Wetlands Conservation and Restoration Task Force]. 1993. *Louisiana Coastal Wetlands Restoration Plan. Main Report, EIS and Appendices*, Baton Rouge, Louisiana: US Army Corps of Engineers.
- Lindstedt, D. M., L. L. Nunn, J. C. Holmes, Jr., y E. E. Willis. 1991. *History of Oil and Gas Development in Coastal Louisiana*. Baton Rouge, Louisiana: Louisiana Geological. 131 pp.
- Lindscombe, G., R. H. Chabreck, y S. Hartley. 2001. 2001 *Louisiana Coastal Marsh-Vegetative Type Map*. U. S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana, and the Louisiana Dept. of Wildlife and Fisheries, Fur and Refuge Division, Baton Rouge, LA. (http://www.browmarsh.net/data/III_9.htm).
- Mendelsohn, I. A., y J.T. Morris. 2000. 'Eco-physiological control on the productivity of *Spartina alteriflora* loisel,' in M.P. Weinstein and D.A. Kreeger (eds), *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Boston, Mass: Kuwer Academic Publishers. Pp. 59-80.
- Mitsch, W. J., J. W. Day, Jr., W. Gilliam, P. M. Groffman, D. L. Hey, G. W. Randall, y N. Wang 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River basin: strategies to counter a persistent ecological problem. *Bioscience* 51: 373-388.
- Mitsch, W. J., y S. E. Jorgenson. 2003. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*. New York: John Wiley & Sons.

- Moore, D. H., H. Brusher, y L. Trent 1970. Relative abundance, seasonal distribution, and species composition of demersal fishes off Louisiana and Texas, 1962-1964. *Contributions in Marine Science* 15: 45-70.
- NMFS (National Marine Fisheries Service). Fisheries Statistics & Economics Div. www.st.nmfs.gov. Acceso: 3 de diciembre de 2003.
- Nixon, S. W. 1981. 'Freshwater inputs and estuarine productivity,' in *Proceedings of the National Symposium on Freshwater Inflow to Estuaries*. Slidell, Luisiana.
- Odum, H. T. 1971. *Environment. Power and Society*. New York: John Wiley and Sons.
- Odum, H. T., y C. Diamond. 1985. *Energy Systems Overview of the Miss. River Basin*. Report to the Cousteau Society.
- O'Neil, T. 1949. *The muskrat in the Louisiana coastal marshes*. Louisiana Department of Wildlife and Fisheries, New Orleans. 159 pp.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner y W. J. Wiseman. 1991. 'Distribution and characteristics of hypoxia on the Louisiana Shelf in 1990 and 1991,' in *Nutrient Enhanced Coastal Ocean Productivity*. 15-20. Texas Sea Grant Program, Texas A&M University. Publication no. TAMU-SG-92-109.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, W. J. Wiseman y B. K. Sen Gupta 1996. Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 17: 850-861.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, W. J. Wiseman, and Q. Dortch 1998. Consequences of the 1993 Mississippi River flood in the Gulf of Mexico. *Regulated Rivers* 14: 161-177.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, y W. J. Wiseman 1999. *Characterization of Hypoxia: Topic 1 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series No. 15. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Office.
- Raynie, R. C., y S. K. Beasley 2000. *Working to Save Our Coastal Wetlands*. Public information brochure. Baton Rouge, Louisiana Dept. of Natural Resources, Coastal Restoration Div. 17 pp.
- Reddy, K. R., R. D. DeLaune, W. F. DeBusk, y M. S. Koch. 1993. Long-term nutrient accumulation rates in the Everglades. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1147-1155.
- Reed, D. 1992. Effect of weirs on sediment deposition in Louisiana coastal marshes. *Environmental Management* 16: 55-65.
- Roberts, H. H. 1997. Dynamic changes of the holocene Mississippi river delta plain: the delta cycle. *Journal of Coastal Research* 13: 605-627.
- Rybczyk, J. M., J. W. Day, Jr. y W. H. Conner 2002. The impact of wastewater effluent on accretion and decomposition in a subsiding forested wetland. *Wetlands* 22: 18-32.
- Sharp, J. H., C. H. Culberson, y T. M. Church. 1982. The chemistry of the Delaware estuary: General Considerations. *Limnology and Oceanography* 27: 1015-1028.

- Templet, P. H., y K. Meyer-Arendt. 1988. Louisiana wetland loss: a regional water management approach to the problem. *Environmental Management* 12: 181-192.
- Turner, R., y R. Allen. 1982. Bottom water oxygen concentrations in the Mississippi River Delta bight. *Contributions in Marine Science* 25: 161-172.
- Turner, R. E. 1977. Intertidal vegetation and commercial yields of penaeid shrimp. *Transactions of the American Fisheries Society* 106: 411-416.
- Turner, R. E., R. Costanza, y W. Scaife. 1982. 'Canals and wetland erosion rates in coastal Louisiana. En: D. Boesch (ed.). *Proceedings of the conference on coastal erosion and wetland modification in Louisiana: causes, consequences, and options*. FEW/OBS-82/59. US Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Slidell, Louisiana. Pp. 73-84.
- Turner, R. E., y D. Cahoon 1987. *Causes of wetland loss in the coastal central Gulf of Mexico*. Vol.1: executive summary. Vol.2: technical narrative. Vol.3: appendices. Coastal Ecology Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. Final report submitted to the Minerals Management Service, Contract No. 14-12-001-30252. OCS study/MMS 87-0119. New Orleans, Louisiana.
- Twilley, R. R., y J. Barras 2003. 'Formulation of the Louisiana coastal area ecosystem model. En: R. R. Twilley (ed.). *LCA Comprehensive Ecosystem Restoration Plan*, Appendix E. 276 pp.
- Viosca, P. 1927. Flood control in the Mississippi valley in its relation to Louisiana fisheries. *Transactions of American Fisheries Society* 57: 45-64.
- Zhang, X., S. Feagley, J. Day, W. Conner, I. Hesse, J. Rybczyk, y W. Hudnall. 2000. A water chemistry assessment of wastewater remediation in a natural swamp. *Journal of Environmental Quality* 29: 1960-1968.

LA OBSERVACIÓN DE IMPACTOS EN EL GOLFO DE MÉXICO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

Raúl Aguirre Gómez

INTRODUCCIÓN

El movimiento del agua y de los sedimentos en las plataformas continentales, incluyendo bahías, estuarios y lagunas costeras, han sido estudiados mediante técnicas oceanográficas convencionales de medición directa o indirecta. Las observaciones directas incluyen la colección de núcleos del fondo marino o la inmersión de instrumentos de registro automático (*e.g.* CTD). Las observaciones indirectas incluyen el uso de equipo geofísico especializado o bien, el análisis de propiedades conservativas del agua, tales como temperatura y salinidad, que permiten inferir el origen y movimiento de masas de agua. Estas técnicas de monitoreo han sido usadas en forma aislada y como parte constituyente de estudios integrales. En las últimas dos o tres décadas, los datos obtenidos remotamente en plataformas aéreas y espaciales han proporcionado una fuente adicional de información para las investigaciones oceanográficas costeras y marinas. Las imágenes de satélite han sido utilizadas en numerosos estudios empleando, principalmente, los intervalos visible, térmico y microondas del espectro electromagnético (EEM). La importancia de estudiar la zona costera con estas técnicas radica en el hecho de poder evaluar el impacto en la zona costera de manera sinóptica.

El objetivo de esta contribución es evaluar, en forma cualitativa, el impacto de las diferentes actividades antropogénicas y procesos naturales en la zona costera del Golfo de México.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México es un sistema semicerrado con una entrada de agua oceánica por el Caribe a través del Canal de Yucatán y con una salida a través del estrecho de la Florida con una profundidad máxima de 4,000 m en la región central. Una sus características morfológicas más notables es el ancho de la plataforma continental cerca de las penínsulas de la Florida y Yucatán, la cual decrece ligeramente en la parte norte cerca de las costas de Texas, Luisiana, Misisipi y Alabama y es muy angosta en la pendiente occidental cercana a las costas de Tamaulipas y Veracruz.

El Golfo de México es un sistema oligotrófico con la mayor producción primaria asociada a la presencia de “nortes” que se presentan de noviembre a mayo (Soto y Escobar 1995). La mezcla convectiva de la columna de agua se presenta en octubre durante la temporada de nortes y termina en marzo. En la parte noroeste del Golfo de México el ciclo anual de la descarga de los ríos es escasa de febrero a mayo, y aumenta entre julio y septiembre durante la época de lluvias. La descarga de los ríos Soto la Marina, Bravo y Pánuco producen una capa con una salinidad baja de 30 ups y temperatura de 21 a 23 °C que puede llegar hasta los 100 km de la desembocadura (Escobar y Soto 1997).

Esta región del golfo está constituida por una plataforma de menos de 50 km de ancho, la cual termina a 100 ó 200 m de profundidad. La plataforma es abrupta y se distingue por relieves paralelos a la línea de costa, conocida como la “Cordillera Mexicana” entre los 24° y 19° N. Esta cordillera actúa como barrera para el sedimento continental generando un talud continental único por su naturaleza y origen. La plataforma continental cercana a la península de Yucatán es conocida como el Banco de Campeche y en la región sur-occidental como la Sonda de Campeche. En la región occidental del Banco de Campeche existe un área que presenta grandes cambios con la profundidad y se conoce como el Escarpe de Campeche. En la región suroeste del Golfo de México existe un cañón submarino que marca el final de la zona carbonatada del Banco de Campeche y el inicio de la zona continental, que se conoce como el Cañón de Campeche.

La región cubre varias zonas fisiográficas que incluyen al Banco y a la bahía de Campeche de acuerdo con la clasificación de Antoine (1972). El Banco de Campeche es una región carbonatada muy extendida y casi plana, limitada al oeste por la cuenca Tabasco–Campeche y al este por el Estrecho de Yucatán. Esta región recibe la influencia de las surgencias a lo largo de la Península de Yucatán. Se ha observado una corriente fuerte derivada de la

Corriente del Golfo que entra a través del estrecho. Es una zona somera que abarca un rango de 20 a 200 m de profundidad. La Bahía de Campeche está limitada por el paralelo 21° N y por las costas de los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán al oeste, sur y este, respectivamente. Se considera como la extensión marina de la cuenca Tabasco-Campeche. La bahía, abierta hacia el golfo, limita al este con el Banco de Campeche, y al sur y al suroeste con la Sierra Madre Oriental. La planicie costera es baja, pantanosa y con un drenado pobre. La circulación dentro de la bahía está influenciada por la corriente proveniente del Banco de Campeche, la cual es producida por la corriente y la surgencia dinámica de Yucatán (Hernández-Téllez *et al.* 1993). La temporada de lluvia, de junio a septiembre, produce un aporte de agua dulce en la bahía a través del sistema de ríos Grijalva - Usumacinta. El aporte de agua dulce disminuye la salinidad y modifica la temperatura marina creando un frente costero (Monreal-Gómez *et al.* 1992). La bahía es una región oceánica más profunda con un rango que va desde los 2,000 hasta los 3,500 metros.

Las características físicas más pronunciadas son la Corriente del Lazo y sus remolinos anticiclónicos asociados. En la región sur del Golfo de México descargan sus aguas dos ríos importantes: el Coatzacoalcos y el sistema Grijalva-Usumacinta. Estos ríos son la principal fuente de sedimentos en la zona costera y representan aproximadamente un tercio de la descarga fluvial en México (Carranza *et al.* 1993). La circulación en esta parte es ciclónica generada por remolinos originados en el Este y que llevan un desplazamiento hacia el Oeste (Molinari *et al.* 1978). La precipitación anual alcanza los 4.5 m y se tiene un promedio de 160 días nublados por año.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SENSORES SATELITALES

Los datos utilizados en este capítulo fueron obtenidos de los sensores, Landsat (MSS y TM), SeaWiFS, AVHRR y TOPEX y procesados en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la UNAM. Estos sensores operan en las regiones visible, infrarroja y microondas del espectro electromagnético. Todos ellos son transportados en satélites helio-sincrónicos, de órbita polar, cruzando el ecuador terrestre aproximadamente a la misma hora local a lo largo del año. Existe una amplia gama de características oceánicas y costeras que son discernibles con imágenes de satélite. Estos aspectos son descritos a continuación.

EL COLOR DEL MAR

En el intervalo visible del EEM, las imágenes satelitales han sido utilizadas en estudios de zonas ribereñas, lacustres, estuarinas de ambientes costeros y de mar profundo. Diversos sensores han sido utilizados en los análisis sobre la distribución y transporte de sedimentos y de fitoplancton, principalmente. Entre estos instrumentos se tienen, a los sensores MSS y TM de la serie Landsat y al sensor SeaWiFS del satélite ORBVIEW-2.

Los productos generados a partir de este tipo de imágenes de satélite son principalmente: a) mapas de la concentración de la clorofila *a* (pigmentos) y b) mapa de sedimentos.

Mediante estos mapas es posible hacer un análisis de la distribución y transporte del fitoplancton en zonas oceánicas para inferir producción primaria y de la distribución y transporte de sedimentos para inferir posibles impactos ecológicos en la zona costera.

En el primer caso, esto es posible gracias a que el pigmento más abundante de las algas marinas es la clorofila *a*, la cual absorbe fuertemente en la región azul del EEM, con un pico secundario en la región roja. Las aguas con una abundancia importante de fitoplancton se caracterizan por tener una reflectancia (*R*) decreciente en la región azul. Las variaciones de *R* en el intervalo verde-amarillo dependen de la combinación de la abundancia de pigmentos accesorios (clorofilas *b* y *c*, carotenos, biliproteínas) y de las propiedades de esparcimiento de las células. Esto último es válido para el caso de las diatomeas, las cuales poseen coberturas externas de silicio. La profundidad a la cual los sensores de color del mar (e. g. SeaWiFS) pueden obtener información está limitada a la primera profundidad óptica.

En relación con el segundo punto, el infrarrojo cercano es la región del EEM de utilidad en la detección de sedimentos. Los sensores SeaWiFS y AVHRR poseen bandas espectrales en este intervalo. En aguas costeras el material en suspensión afecta la señal del color del mar. Este material terrígeno, que se origina de los sedimentos del fondo, es resuspendido por mezcla vertical a través de la columna de agua, por erosión costera o por descarga de ríos. Las partículas tienden a aumentar la señal reflejada por el océano en ambas regiones del espectro, por esparcimiento de la luz incidente. Los sensores utilizados en la detección de estos parámetros poseen características espectrales, espaciales y temporales. Las características espectrales se refieren a las propiedades que tienen las bandas de cada sensor. Por ejemplo, el Barredor Multi-Espectral y el Mapeador Temático (MSS y TM, por sus siglas

en inglés, respectivamente) de los satélites Landsat poseen bandas muy amplias, por lo que son adecuados para aplicaciones terrestres pero presentan dificultades en la detección de los cambios sutiles en el color y la reflectancia que son típicos del océano. Por otro lado, el sensor SeaWiFS, diseñado para hacer observaciones del color del mar, posee ocho bandas espectrales angostas (20 nm) centradas a longitudes de onda particularmente útiles para detectar la débil señal de color emergiendo del océano.

La resolución espacial del sensor SeaWiFS es del orden de 1 km² observando al nadir. Su resolución temporal es de una imagen diaria.

LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

El registro de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) mediante sensores infrarrojos térmicos, es la técnica de la percepción remota marina que más impacto ha tenido en la oceanografía. Esta situación es debida, principalmente, a tres causas. La primera es la alta correlación hallada entre los valores digitales de la imagen IR y la temperatura con una precisión de 0.1° C.; la segunda causa es la continuidad en el suministro de imágenes por los sensores meteorológicos AVHRR y GOES y, finalmente, la relativa facilidad para la obtención de este tipo de imágenes, lo cual garantiza una amplia difusión de información. Para mantener esta situación los radiómetros IR deben ser muy precisos, estar bien calibrados y ser aceptablemente estables. Las imágenes de TSM detectan principalmente la “piel” del océano, esto es, el grosor de la capa superficial percibida por los sensores satelitales en la región térmica (3 a 14 mm) es menor a 0.1 mm.

Sin embargo, en un perfil vertical típico de la temperatura se observa la disminución de la temperatura en función de la profundidad. Esta estructura térmica de los océanos se caracteriza por tener una termoclina permanente a una profundidad de 1,000 m. Por debajo de esta termoclina la temperatura disminuye lentamente. Por encima de la termoclina se encuentra una capa de mezcla cuyo grosor puede variar desde la superficie hasta 50 ó 200 metros de profundidad. Esto implica que si las mediciones de la TSM son representativas para el primer metro de agua lo serán también para la capa de mezcla.

La estimación de la TSM se deriva de las imágenes obtenidas por los satélites de la serie NOAA, mediante el sensor AVHRR. Este instrumento posee cinco bandas espectrales (una visible, una en el IR cercano, una en el IR medio y 2 en el IR térmico). Su resolución espacial es de 1 km² al nadir y su

resolución temporal es de 1 imagen diaria (aunque hay cuatro satélites NOAA orbitando, lo cual garantiza al menos, cuatro imágenes diarias).

La información que proporcionan los mapas de TSM es de gran utilidad en la detección e identificación de características tales como la circulación oceánica, los frentes térmicos, y las surgencias; asimismo, es posible asociar mapas de TSM con pesquerías (Herron *et al.* 1989) y mareas rojas. En este último aspecto se sabe que en la presencia masiva de dinoflagelados o ciliados responsables de las mareas rojas confluyen condiciones adecuadas de temperatura, salinidad y nutrientes. Estas mareas rojas tóxicas pueden afectar a muchas formas de vida marina. Los seres humanos también podemos ser afectados por ciguatera al comer pescado contaminado o por algún tipo de parálisis al ingerir mariscos, mejillones u ostiones (Kao 1966). La percepción remota de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) ha resultado ser una herramienta muy útil en estudios de la dinámica de las mareas rojas (Peláez 1987, Aguirre *et al.* 1999).

ALTURA SIGNIFICATIVA DEL MAR

En la región de las microondas es posible hacer observaciones del viento y del oleaje, hacer estimaciones de la altura dinámica del mar y de la altura significativa de las olas entre otros parámetros. Los instrumentos utilizados en esta parte del EEM pueden detectar tanto en forma pasiva, como en el caso de los sensores mencionados previamente, como en forma activa, si cuentan con un sistema emisor-receptor integrado. Estos sensores son principalmente radares transportados a bordo de plataformas como el TOPEX-Poseidón, RADARSAT; ERS I y II, entre otros.

La observación de la superficie del mar en la región de las microondas se inició en 1978 con la puesta en órbita del satélite SeaSAT. Aun cuando este instrumento estuvo en operación por un breve lapso la información que proporcionó fue de gran interés para la comunidad científica. El principal logro del SeaSAT fue que permitió medir la distancia entre el satélite y la superficie marina con una precisión de 10 cm. Este tipo de mediciones permiten medir la pendiente absoluta de la superficie del mar, lo que se traduce en la posibilidad de medir la altura significativa del mar, y de las olas, así como estimar la velocidad del viento. Los altímetros satelitales son radares que transmiten señales cortas hacia la superficie terrestre. El tiempo que tarda en retornar desde la superficie la señal enviada, permite conocer la distancia entre el satélite y la superficie, si se conoce la velocidad de propa-

gación de la señal. En particular, la altura significativa del mar (SSH, por sus siglas en inglés) se calcula en función de un geode en relación con un elipsoide de referencia con el mismo grado de precisión que las distancias que se desean estimar. La altimetría satelital es pues una herramienta alternativa para identificar giros ó remolinos dado que están asociados con anomalías de la SSH que puede ser observada en cualquier época del año.

El satélite TOPEX/Poseidón utiliza un altímetro de radar con una alta precisión que permite medir la SSH en más del 90% del océano no cubierto de hielo. TOPEX orbita a 1,336 km sobre la Tierra, completando un ciclo de 127 órbitas en diez días, con una precisión de 2.5 cm. Estas características permiten al satélite producir mapas topográficos de todo el mundo. Conociendo la topografía del océano es posible calcular la velocidad de las corrientes en el océano, se puede observar el movimiento de aguas en el ámbito planetario. Estos cambios son dependientes de la latitud y están dominados por la variación de la TSM. Por ejemplo, alrededor del ecuador es posible observar cambios importantes en el nivel del mar durante eventos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

Con base en estos conceptos es posible identificar procesos oceanográficos en el Golfo de México y hacer evaluaciones, tanto de tipo global como regional, de diversas clases de impactos que ocurran en él. La primera sección se avoca al análisis de tipo global y la segunda al aspecto regional.

EVALUACIÓN SATELITAL DEL GOLFO DE MÉXICO (GLOBAL)

En esta sección se muestran las características principales observadas en el Golfo de México mediante tres sensores satelitales: El sensor SeaWiFS para el color del mar, AVHRR para la TSM y TOPEX/POSEIDÓN para SSH. Estos aspectos son descritos en los siguientes párrafos.

ANÁLISIS DEL COLOR DEL MAR

La figura 1 muestra una imagen del Golfo de México tomada con el sensor SeaWiFS el 24 de abril de 1998. La imagen representa la variación en la concentración de la clorofila *a* en las diferentes regiones que comprenden al Golfo de México. La imagen corresponde a la época de invierno y permite observar aspectos de gran interés. La región central del Golfo de México es primordialmente oligotrófica como lo muestran los tonos violeta-azul que representan concentraciones menores a 0.1 mg m^{-3} . De esto se infiere que la

zona productiva del golfo se halla por debajo de lo que puede observar el satélite. Por consiguiente se puede decir que la capa de mezcla de la parte central del golfo contiene cantidades bajas de nutrientes y de fitoplancton. En la región norte del Golfo de México se perciben valores altos (tonos rojos) localizados en la desembocadura de los ríos Misisipi y Atchafalaya. Esta señal es el resultado de la respuesta conjunta de la concentración de clorofila y los sedimentos acarreados por los ríos, la cual conforma la parte dominante de la señal. Otra de las características importantes que se observan en la imagen son las concentraciones relativamente altas frente a las costas de Tamaulipas y Veracruz. Estas concentraciones son una repuesta al anticiclón mexicano al formarse estructuras ciclónicas al norte y al sur de éste. El anticiclón mexicano es una estructura semipermanente que está directamente influenciada por la Corriente del Lazo (Vázquez de la Cerda 1975). Estos anillos ciclónicos generan un ascenso de aguas con temperaturas más bajas y más ricas que las de su entorno. Estos remolinos fomentan la productividad biológica de la zona (Biggs 1992). Los tonos azules claro representan una concentración relativamente elevada ($0.5-0.6 \text{ mg m}^{-3}$) (véase figura 1 en el encarte a color al final del presente artículo)

Finalmente, el último aspecto general que se puede observar en la figura es la influencia de la surgencia dinámica de Yucatán generando condiciones adecuadas para tener concentraciones relativamente altas de clorofila *a* en la parte sur del Golfo de México (tono azul claro).

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

La circulación del Golfo de México está influenciada por las aguas cálidas y salinas que entran por la región comprendida entre Cuba y la Península de Yucatán, circula en el Golfo y sale por el Estrecho de la Florida, donde se une a la Corriente de la Florida. En el Golfo de México, parte de la corriente forma anillos anticiclónicos, los cuales influyen en las aguas adyacentes generando remolinos ciclónicos. El resto de las aguas de la corriente continúa su viaje hacia el Estrecho de la Florida a través de la Corriente del Lazo. Esta corriente es un flujo de agua con alta salinidad (36.7 ups) y temperaturas superficiales durante el verano de 28 a 29 °C que disminuyen en el invierno entre 24 y 26 °C. La Corriente del Lazo presenta una intrusión dentro del golfo, la cual varía estacionalmente. Durante los meses de abril, mayo, junio y agosto, la intrusión puede alcanzar los 27° de latitud Norte (Molinari 1978). La corriente pierde fuerza durante los meses de julio, octubre y no-

viembre alcanzando solamente los 25° N, generando giros anticiclónicos. Estos anticiclones son áreas de temperaturas cálidas y salinas semejantes a las del Lazo. Frente a las costas de Tamaulipas se ha detectado el efecto del anticiclón mexicano gracias a los anillos ciclónicos que generan un ascenso de aguas con temperaturas más bajas que las de su entorno. Estas estructuras térmicas han sido observadas y estudiadas con imágenes satelitales de TSM desde mediados de los años 1980 (*e. g.* Vukovich y Maul 1985).

A pesar de que la Corriente del Lazo es una estructura permanente en el golfo, los satélites sólo lo pueden detectar con claridad en los meses más fríos del año. En los meses más cálidos la capa superficial en el Golfo de México se vuelve isotérmica debido al calentamiento solar, ocultando su presencia en los mapas de TSM. Los límites de la Corriente del Lazo son claramente visibles en imágenes de satélite antes de que las aguas superficiales del golfo se hagan isotérmicas en mayo. La figura 2 muestra un compuesto de la TSM promedio del mes de febrero de 1998. Aquí se puede apreciar claramente la Corriente del Lazo en la parte oriental del Golfo de México. Los tonos amarillo-naranja indican temperatura de 24 a 26 °C, que contrastan con aguas más frías en la zona norte del golfo con temperaturas variando entre 16 y 20 °C (tonos azules) y más cálidas de alrededor de 29° C en la región del Caribe (tonos naranjas). Estas variaciones de temperatura son producto de la interacción de las aguas cálidas de la Corriente del Lazo con aguas más frías, por ejemplo, las provenientes del delta del río Misisipi. Asimismo, es posible observar en la figura la presencia de giros y remolinos con temperaturas menores a las del Lazo (tonos verdes y amarillos), ubicados al oeste de la corriente y cercanos a las costas mexicanas (véase figura 2 en el encarte a color al final del presente artículo).

ANÁLISIS DE LA ALTURA SIGNIFICATIVA DEL MAR

En la figura 3 se observan características importantes en la dinámica del Golfo de México que se infieren a través de altimetría. La figura corresponde a una imagen del satélite TOPEX la cual fue tomada el 4 de abril de 2000. La altura de las superficies más altas está relacionada con aguas de mayor temperatura. Así, se observa en tonos oscuros, la presencia de la Corriente del Lazo en la parte oriental del Golfo de México. Se aprecian también los remolinos o eddies expulsados de la corriente principal en dirección a las costas de Tamaulipas y Veracruz. Estas estructuras pueden permanecer en escalas de tiempo variables y pueden tener diámetros de decenas a centenares de kilómetros y extenderse

a grandes profundidades en el mar. Estos remolinos juegan un papel importante en la circulación de los océanos transportando calor, sales y nutrientes. También tienen un papel fundamental en el clima, en pesquerías y en los sistemas biogeoquímicos. La observación de las diferencias en alturas y en temperaturas permite estimar la dirección de las corrientes y la circulación general del Golfo de México. En el ámbito biológico pueden ser de utilidad al identificar zonas donde habitan organismos marinos (véase figura 3 en el encarte a color al final del presente artículo).

EVALUACIÓN SATELITAL DEL GOLFO DE MÉXICO (REGIONAL): PROCESOS COSTEROS

En esta sección se presenta un análisis de la región costera del Golfo de México a través de imágenes del satélite Landsat. El análisis se realizó en orden norte-sur de los estados que limitan con el Golfo de México, e incluye un estudio de caso para cada uno de los estados. Con respecto a los Estados Unidos de América se hizo un análisis particular de la descarga de los ríos Misisipi y Atchafalaya.

En el estudio de impacto a la zona costera por actividades antropogénicas y de carácter natural se pueden incluir la descarga de sedimentos por ríos y la de los procesos costeros de erosión y acumulación. Las características fundamentales de cada una de estas causas se describen a continuación.

a) Descarga de sedimentos por ríos. Es sabido que los sedimentos son portadores de material inorgánico y orgánico (incluyendo contaminantes) y son el sustrato para diferentes procesos biogeoquímicos que impactan de diferentes formas a la zona costera.

Las plumas de sedimentos provenientes de ríos y estuarios contienen concentraciones relativamente altas de material orgánico e inorgánico que es altamente reflectivo en la región visible del espectro electromagnético. Esta alta reflectancia es fácilmente observable por sensores ubicados en plataformas satelitales. La importancia de estas observaciones radica en la posibilidad de conocer el destino final de los nutrientes fluviales y su posible efecto en el balance del carbono. En términos simples esto equivaldría a responder a la pregunta de si los nitratos y fosfatos producidos por fuentes agrícolas y urbanas e inyectadas a través de las descargas de agua dulce a la zona costera resultan en un incremento importante de la producción primaria. Para responder a esta pregunta se requiere del entendimiento de los procesos de sedimentación y circulación que controlan el intercambio de material a través de

la plataforma continental. Las imágenes de color del mar pueden proporcionar respuestas a estas cuestiones al proporcionar series de tiempo de imágenes de la formación y disipación de plumas en plataformas continentales y proporcionar una aproximación a otros procesos que afectan la tasa a la cual las aguas de los ríos y los océanos se mezclan.

b) Procesos costeros de erosión y acumulación. Es sabido que los procesos costeros cambian el entorno litoral. Las regiones de contacto entre el mar y la tierra firme son de gran actividad y el límite entre ambas es lo que se conoce como línea de costa. Esta se define por la posición que tiene el mar en el litoral en el transcurso de 24 horas. En periodos que van de años hasta siglos o milenios se perciben cambios en la posición de la línea de costa. Los factores que influyen en esta variación son el oleaje, las mareas y las corrientes litorales. Estos factores contribuyen a la destrucción de las rocas de las costas, ó bien a la acumulación de los sedimentos que transportan. Otros factores que influyen en los cambios del relieve costero son el descenso ó ascenso del nivel del mar por un mayor o menor aporte de agua por los ríos desde tierra firme. El factor principal de erosión de las riberas de la tierra firme es el oleaje, el cual por acción mecánica y química destruye gradualmente las paredes rocosas, socavando las bases continentales. Las costas del Pacífico mexicano que van desde bahía Banderas hasta el Golfo de Tehuantepec son predominantemente abrasivas. Por el contrario, en las costas del Golfo de México es común observar un relieve constituido por depósitos de material acarreado del mar a la tierra firme. Los procesos de acumulación originan grandes formas del relieve de las costas como son los cordones de playa e islas fluviales. Las barras constituidas de arena son paralelas a la costa y sobresalen por encima del nivel del mar. En el Golfo de México estas barras se disponen a lo largo de algunos miles de kilómetros, aunque en forma discontinua y separan, en su totalidad, cuerpos de agua como las lagunas Madre, Tamiahua, Del Carmen y de Términos, distribuidas desde las costas de Tamaulipas hasta las de Campeche.

En las siguientes secciones se analizan, regionalmente y por estados, las principales características costeras por medio de imágenes de satélite.

a) Región Sureste de los Estados Unidos de América. En la región sureste de los E.U.A se encuentran los estados de Texas, Luisiana, Alabama y Florida. La costa del Golfo de México en esta región es baja y pantanosa, y abundan los manglares y los humedales. La plataforma continental de la región incluye la amplia plataforma del occidente de Florida que posee 200 km de ancho, en cambio, la amplitud de la plataforma de Louisiana varia de me-

nos de 20 km en el delta "Pie de pájaro" del río Misisipi hasta cerca de 200 km en la parte central y occidental del estado. Asimismo, la plataforma de Texas es amplia y sin cambios importantes en su relieve topográfico. La descarga de agua dulce en el Golfo de México es de aproximadamente $1,110 \text{ km}^3$ por año y está dominada por los ríos Misisipi y Atchafalaya, los cuales contribuyen con un 55% de esta descarga. La extensión del impacto de esta descarga es variable y modulada por la tasa de la descarga y los procesos que dispersan la pluma, principalmente por el efecto del viento. La influencia de la descarga de los ríos Misisipi y Atchafalaya en el Golfo de México se puede apreciar en las figuras 1 y 2. La figura 1 muestra, en tonos rojos, una concentración alta (superior a los 64 mg m^{-3}) de clorofila combinada con sedimentos. La figura 2 muestra una corriente de agua fría a lo largo de la costa sur de los EE.UU. la cual está asociada con la descarga de agua dulce de los ríos mencionados.

b) Tamaulipas. El estado de Tamaulipas se localiza en la parte norte de la llanura costera del Golfo de México y en la Sierra Madre Oriental. El litoral del estado es bajo y arenoso, con extensas albuferas y lagunas cerradas por cordón litoral (e. g. Laguna Madre, Laguna del Almagre y Laguna de San Andrés). Los ríos han formado barras en su desembocadura. Los ríos principales son el Bravo, el San Fernando, el Soto la Marina; y el Tamesí. El río Bravo en particular, es uno de los ríos más largos de Norteamérica con una longitud superior a los 3,000 km. El río Bravo forma la frontera natural entre Texas y México. Ambos países utilizan sus aguas para beber, sin embargo, el río se ha ido contaminando paulatinamente conforme crecen los asentamientos humanos a lo largo de sus márgenes e incorporan aguas negras y pesticidas al río. La figura 4 es una imagen Landsat de la región donde se puede observar la pluma de sedimentos, proveniente del río Bravo y sus meandros, en el Golfo de México. Es posible apreciar, en tono azul claro, la magnitud de la descarga de sedimentos y su distribución en la zona costera de ambos países. (véase figura 4 en el encarte a color al final del presente artículo)

La figura 5 muestra la descarga del río Pánuco el cual sirve de límite entre los estados de Tamaulipas y Veracruz y desemboca en el Golfo de México junto al Tamesí. Esta descarga produce un impacto ecológico de importancia en la zona costera dado que el río Pánuco es el último tramo en el transporte de aguas negras procedentes de la Ciudad de México y de poblaciones asentadas a lo largo de sus afluentes: los ríos Tula y Moctezuma (véase figura 5 en el encarte a color al final del presente artículo)

c) Veracruz. El estado de Veracruz está localizado entre la Sierra Madre Oriental y la llanura costera del Golfo de México. La llanura costera está bordeada por un litoral bajo y con formación de médanos. Son numerosas las lagunas o albuferas y los esteros (*e. g.* Laguna de Tamiahua, Alvarado, Sontecomapan, y Ostión). Todos los ríos veracruzanos pertenecen a la vertiente del Golfo de México. Los principales ríos del estado son el Pánuco que desemboca junto con el Tamesí, el Tempoal y el Chicayán. Los ríos Tuxpan, Cazonces, Tecolutla, Nautla, Jamapa, Blanco, Papaloapan-San Juan, Coatzacoalcos y Tonalá, que forma la frontera con el estado de Tabasco. En particular, la cuenca del Papaloapan es una zona estratégica para los estados de Oaxaca y Veracruz. Como en los casos ilustrados previamente, la descarga de los ríos Papaloapan y Blanco a su paso a través de la laguna de Alvarado, transporta sedimento y contaminantes en la región. La figura 6 muestra, en tono verdoso, la magnitud de la descarga de estos ríos, localizados en la parte inferior de la imagen, durante el verano, cuando el caudal es importante a causa de las lluvias (véase figura 6 en el encarte a color al final del presente artículo).

d) Tabasco. El estado de Tabasco se localiza en la región sureste de la República. La zona costera del estado está en contacto con el Golfo de México. Los principales ríos tabasqueños son los de las partes bajas de las cuencas del Grijalva y el Usumacinta. Estos ríos nacen en la región de los Altos, en Guatemala. El Grijalva cruza el estado de Chiapas en dirección noroeste y penetra en la llanura tabasqueña por el sur. El cauce principal del Usumacinta también toma la dirección noroeste, forma límite entre Chiapas y Guatemala y luego, entre Chiapas y Tabasco, penetra la llanura tabasqueña por el sureste. El Grijalva y el Usumacinta se unen en las partes bajas de la llanura; sus cauces son muy inestables, de ellos se desprenden varios brazos que dan lugar a nuevos ríos que antes de desembocar en el Golfo de México forman islas fluviales; debido a la escasa inclinación del terreno y al gran volumen de las corrientes, aumentada por los afluentes que bajan de las sierras con un enorme caudal, los ríos, en la época de crecientes, inundan grandes extensiones de la llanura formando, en las partes más bajas, numerosas lagunas y popales (lagunas poco profundas cubiertas por vegetación acuática). El sistema Grijalva-Usumacinta contribuye con poco menos del 10% del total de la descarga de agua dulce en el golfo aunque para México representa el 33% (Carranza *et al.* 1993). La figura 7 es un ejemplo de la impresionante descarga del sistema Grijalva-Usumacinta durante el verano de 1976 (véase figura 7 en el encarte a color al final de este artículo).

Por otro lado, en los litorales tabasqueños se han formado playas bajas y arenosas con predominio de cordón litoral y, por lo mismo, con una serie de lagunas litorales: El Carmen, Pajonal, Machona, Tupilco y Mecoacán, entre otras. El transporte de arenas por el cauce de los ríos es propicio para la formación de islas sedimentarias mediante un proceso de acumulación. La figura 8 presenta un claro ejemplo de esto, en la vecindad de la desembocadura del río Grijalva (véase figura 1 en el encarte a color al final del presente artículo).

e) Campeche. El estado de Campeche se localiza en la parte occidental de la Península de Yucatán. Es una región que carece de relieve montañoso. Consiste en una planicie con lomeríos y pequeñas depresiones. La parte norte se conoce como La Sierrita. La escasa inclinación del terreno hacia el litoral continúa en la plataforma continental, con profundidades menores a 200 metros y anchura hasta de 200 km. Esta región es conocida como la Sonda de Campeche. Las zonas sur suroeste son las más bajas y formadas por depósitos de aluvión (el resto del estado son calizas). El litoral, un poco elevado en Campeche y Champotón, es bajo, arenoso y con zonas pantanosas en la región sur, en donde se encuentra la laguna de Términos, cerrada en parte por las islas del Carmen y Aguada.

Los principales ríos del estado están distribuidos en varias zonas. En la región suroeste, llamada de los ríos y lagunas, se encuentra el río San Pedro y San Pablo, afluente del Usumacinta y límite con Tabasco, y los que desembocan en la laguna de Términos: Palizada, Chumpán, Candelaria y el Mamantel. En la parte media del estado se encuentra el río Champotón. En la región oeste de la laguna de Términos hay varios sistemas lagunares que desaguan unos en otros (e. g. Pom, Atasta, del Corte y San Carlos). En la laguna de Términos se pueden observar con claridad procesos de erosión y acumulación. La laguna tiene dos bocas localizadas en la parte oriental y occidental de la Isla del Carmen. La boca oriental de la laguna, conocida como Puerto Real, presenta un proceso de erosión costera por la corriente litoral con un flujo neto al interior de la laguna, mientras que la boca occidental o Del Carmen, presenta cordones de playa formados por procesos de acumulación, a través de un flujo neto hacia fuera del cuerpo lagunar. La figura 9 muestra estos patrones dinámicos con claridad (véase figura 1 en el encarte a color al final del presente artículo).

f) Yucatán. El estado de Yucatán se localiza en la parte norte central de la península del mismo nombre. La costa del estado es baja, tiene de lado del mar un cordón litoral arenoso y amplio, depositado por las corrientes marinas que corren en dirección este-oeste a lo largo de la costa; presenta du-

nas relativamente altas. Entre el cordón y la tierra firme existe una península de aguas salobres, que se extiende a lo largo de gran parte del litoral, siendo notable por su extensión la porción conocida como Estero del río Lagartos al este. La mayor parte de las aguas de lluvia se filtra directamente en las rocas calizas características del lugar o penetra por las grietas. No hay aguas superficiales, todas las aguas circulan subterráneamente, ya sea dentro de conductos abiertos en la caliza por disolución de la misma, o hasta el manto de aguas subterráneas. A lo largo de la península de Yucatán el agua subterránea parece ser una fuente importante de agua dulce. La figura 10 muestra, en tono azul claro, el efecto de la surgencia dinámica de Yucatán, y de la descarga de las aguas subterráneas de la península (véase figura 10 en el encarte a color al final del presente artículo).

COMENTARIOS FINALES

Las imágenes de satélite son una herramienta poderosa en el análisis de impactos antropogénicos y de carácter natural en la zona costera. Con ellas es posible observar, de manera continua, la descarga de ríos, su amplitud en la desembocadura y, en su momento, evaluar el impacto ecológico que tienen sobre una región determinada. En el caso del Golfo de México es importante señalar que, dadas sus características físicas, químicas, geológicas, biológicas y económicas, es una región excelente para ser analizada con técnicas de percepción remota. Considero que el concurso de diferentes disciplinas científicas en el estudio del entorno del Golfo de México, traerá como resultado un mayor entendimiento de la región y ofrecerá, como consecuencia, posibles soluciones para los problemas que aquejan al sistema. La oceanografía por satélite es parte fundamental en este proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Gómez, R., R. Álvarez y O. Salmerón García 1999. Red tide evolution in the Mazatlán Bay area from remotely sensed sea surface temperatures. *Geofísica Internacional* 38(2): 63-71.
- Antoine, J. W. 1972. Structure of the Gulf of Mexico, en Rezak, R. y V. H. Henry (eds.). *Contributions on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A & M University Oceanographic Studies, vol. 3, pp: 1-34.
- Biggs, D. C., 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97(C2): 2143-2154.

- Carranza Edwards A., L. Rosales Hoz y A. Monreal, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology* 112: 257-269.
- Escobar, E. y L. Soto, 1997. Continental Shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*. 17: 585-604.
- Hernández Téllez, J., J. Aldeco y D. Salas de León 1993. Cooling and Heating due to latent and sensible heat over the Yucatan continental shelf. *Atmósfera* 64: 223-233.
- Herron, R. C., T. D. Leming y J. Li 1989. Satellite-detected fronts and butterfish aggregations in the northeastern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research* 9(6): 569-588.
- Kao, C. Y., 1966. Tetrodotoxin, saxitoxin, and their significance in the study of excitation phenomena. *Pharmacological Review* 18: 997-1062.
- Molinari, R. L., J. F. Festa y D. H. Behringer 1978. The circulation in the Gulf of Mexico derived from estimated dynamic height fields. *Journal of Physical Oceanography* 8: 987-996.
- Monreal Gómez, A, D. Salas de León, A. R. Padilla Pilotze y M. A. Alatorre Mendieta 1992. Hydrography and estimation of density currents in the southern part of the Bay of Campeche, Mexico. *Ciencias Marinas* 18(4): 115-133.
- Peláez, J. 1987. Satellite images of a red tide episode off southern California. *Oceanologica Acta* 10(4): 403-410.
- Soto, L. y E. Escobar 1995. Coupling Mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico. En: Eleftheriou A, A. Ansell y J. Smith (eds.). *Biology and Ecology of shallow coastal waters*. Proceedings 28th European Symposium, International Symposium Series.
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1975, Current and waters of the upper 1200 meters in the southwestern Gulf of Mexico. M. Sc. Thesis, Texas A & M. University.
- Vukovich, F. M. y G. A. Maul 1985. Cyclonic eddies in the eastern Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography* 15(1): 105-117.

LA OBSERVACIÓN DE IMPACTOS EN EL GOLFO DE MÉXICO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

Raúl Aguirre Gómez

Encarte a color

FIGURA 1. IMAGEN SEAWiFS TOMADA EL 24 DE ABRIL DE 1998

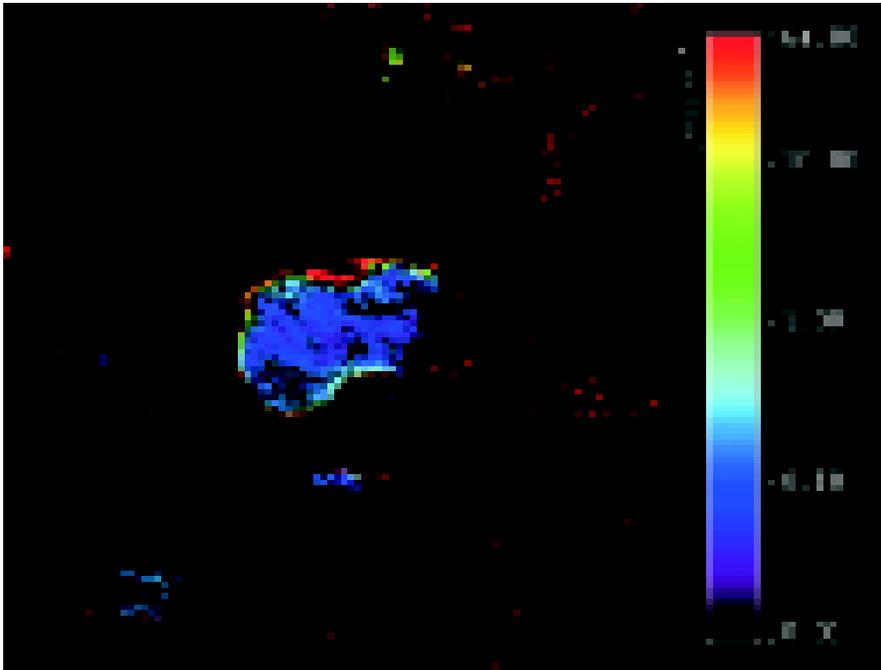


FIGURA 2. COMPUESTO DE TSM CORRESPONDIENTE AL MES DE FEBRERO DE 1998

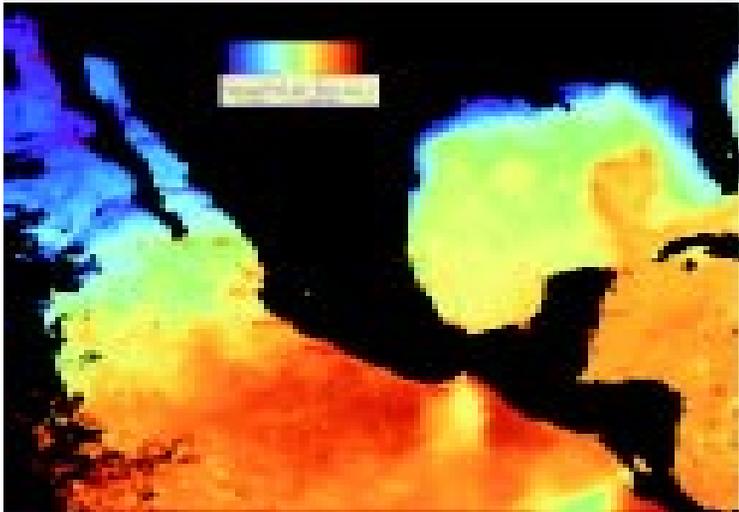


FIGURA 3. IMAGEN DE LA SSH MEDIDA CON TOPEX, EL 4 DE ABRIL DE 2000

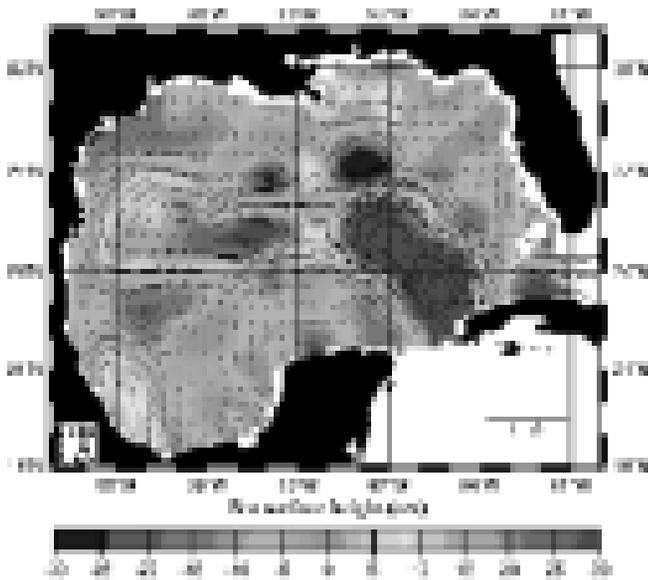


FIGURA 4. DESCARGA DEL RIO BRAVO (IMAGEN LANDSAT 08/11/1972)



FIGURA 5. DESCARGA DE LOS RÍOS TAMESÍ-PÁNUCO Y TUXPAN (IMAGEN LANDSAT 08/11/1972)

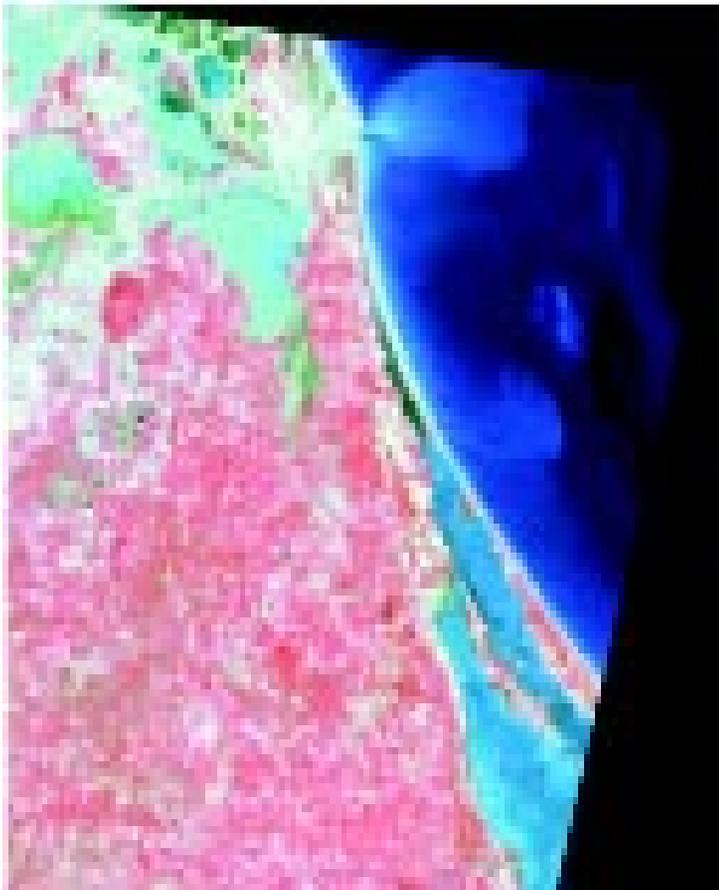


FIGURA 6. DESCARGA DE LOS RÍOS BLANCO Y PAPALOAPAN (IMAGEN LANDSAT 26/08/1990)



FIGURA 7. DESCARGA DE LOS RÍOS GRIJALVA-USUMACINTA

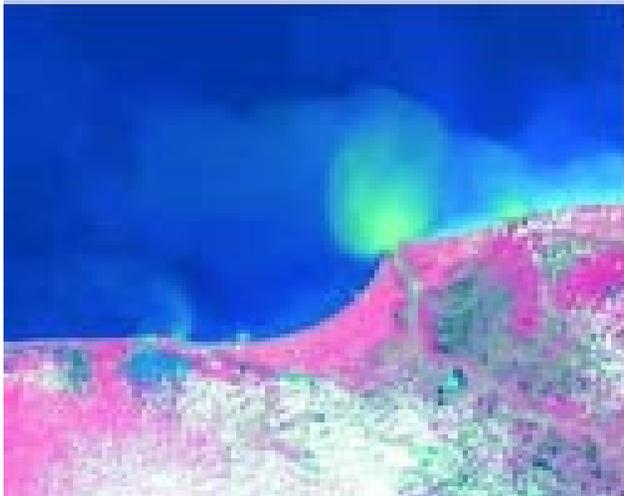


FIGURA 8. PRESENCIA DE ISLAS FLUVIALES (IMAGEN LANDSAT (FECHA: 16/09/1976))



FIGURA 9. PROCESOS DE EROSIÓN Y ACUMULACIÓN (IMAGEN LANDSAT: 01/14/1986)

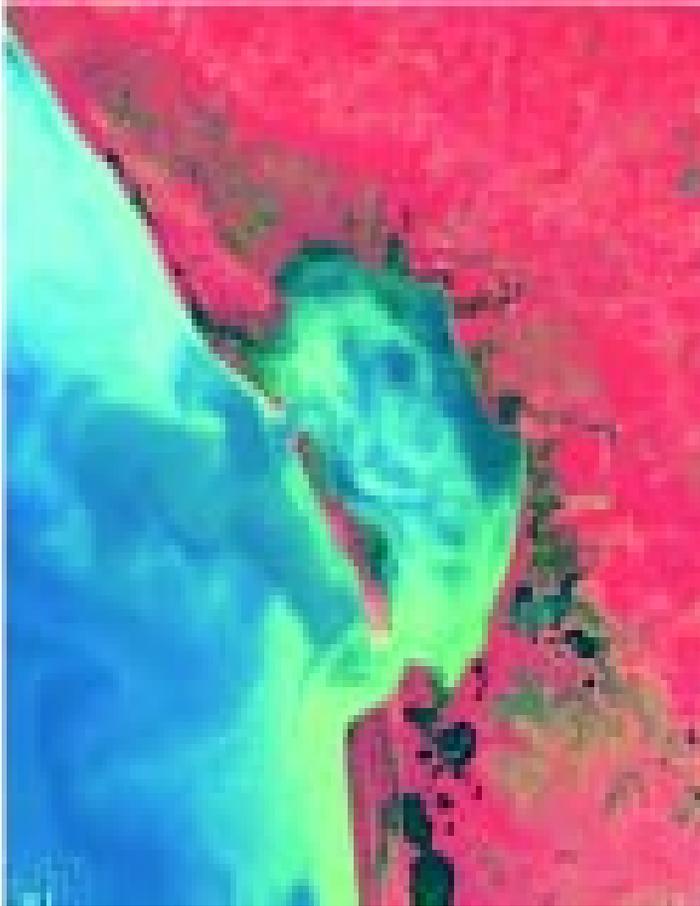
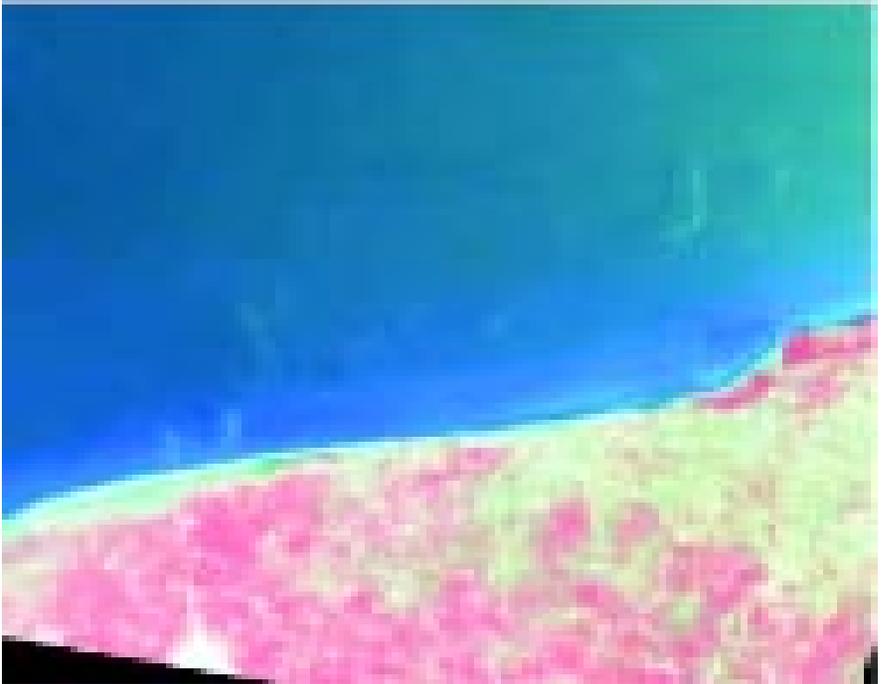


FIGURA 10. SURGENCIA DINÁMICA DE YUCATÁN (IMAGEN LANDSAT: 16/04/1990)



LINEAMIENTOS PARA EL PROGRAMA REGIONAL DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

*D. Zárate Lomelí, A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz Pérez,
A. Lara Domínguez, C. Ojeda de la Fuente, L. J. Morales Arjona
y S. Guevara Sada*

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México tiene una superficie de 1,602,000 km² y es una unidad oceanográfica que forma parte de la región del Gran Caribe, considerada como la cuenca de aguas protegidas más grande del océano Atlántico. La Zona Económica Exclusiva de Estados Unidos de América, México y Cuba convergen en el Golfo. En el ámbito internacional, es considerado como uno de los 50 «grandes ecosistemas marinos» (*Large Marine Ecosystem*) que deben ser protegidos y utilizados de manera que se optimicen los recursos económicos y ambientales que resultan del aprovechamiento de sus recursos naturales (Zárate *et al.* 1999, Kumpf *et al.* 1999, Yáñez-Arancibia y Day 2003).

La zona costera mexicana del Golfo de México y el Caribe, tiene una longitud de 3,118.71 km (30 % del total nacional) y es compartida por los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, cuyos litorales enfrentan la gran frontera internacional hacia la «Cuenca del Caribe», donde México interactúa con 35 gobiernos o naciones.

México comparte en el Golfo de México una cuenca de drenaje de aguas continentales mayor a 5,180,000 km² y que involucra a cinco países, Canadá, Estados Unidos de América, México, Cuba y Guatemala. De esta superficie, 783,915 km² corresponden a México (Weber *et al.* 1992). La plataforma continental tiene una superficie de 480,000 km² (Zárate *et al.* 1999).

La zona costera y marina del Golfo de México y el Caribe representa una región de gran valor ecológico para México, por la gran diversidad de ecosistemas, hábitats, recursos naturales, especies vegetales y animales. Desde el punto de vista social y económico estos ecosistemas y recursos, ofrecen bienes y servicios que son estratégicos para el país porque permiten el desarrollo de importantes actividades económicas asociadas a la extracción, procesamiento y distribución de hidrocarburos, actividades industriales, portuarias y comerciales, actividades agropecuarias y turísticas entre las más importantes (Toledo 1996, Botello *et al.* 1996, Zárate *et al.* 1999 y 2003, Rivera y Zárate 2000). En los cuadros 1 y 2 se resume la importancia estratégica de la región, así como los bienes y servicios ambientales que proporcionan sus ecosistemas.

Los propósitos de este capítulo, son destacar el gran valor ecológico y socioeconómico de la zona costera del Golfo y Caribe mexicano, sus problemas ambientales críticos, los problemas y necesidades relacionadas con el marco legal e institucional y las políticas e instrumentos que se utilizan para su administración y manejo, con la intención de proponer los términos de referencia y los componentes principales para el establecimiento de un programa de manejo integral de la zona costera del Golfo de México y Caribe.

PROBLEMAS AMBIENTALES CRÍTICOS

La zona costera de la región se encuentra expuesta directamente al impacto ambiental de las actividades humanas que se realizan en sus seis estados litorales, cuya superficie es de 318,828 km², (16.2% del total nacional) e indirectamente al impacto de las actividades humanas que se desarrollan en las cuencas hidrológicas que drenan hacia el litoral y que tienen una superficie de 783,915 km² que representa el 40 % del territorio nacional (Zárate *et al.* 1999 y 2001). En el cuadro 1 se presentan los principales problemas ambientales para la zona costera de la región. De éstos pueden considerarse como críticos por su magnitud los siguientes:

- Fragmentación y pérdida de ecosistemas, cobertura vegetal, biodiversidad y suelos, por el desarrollo poco planificado de actividades agropecuarias, urbanas e industriales (Botello *et al.* 1996, CONABIO 1998, Zárate *et al.* 1999 y 2003, Day *et al.* 2003). Actualmente sólo existe el 36% de la vegetación primaria en la superficie de los seis estados de la región que, como puede observarse en la figura 1, se encuentra muy fragmentada (Zárate *et al.* 2003). De mantenerse la tasa de cambio en la cobertura

CUADRO 1. VALOR ECOLÓGICO, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA ZONA COSTERA MEXICANA
DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

Valor ecológico

- Incluye las cuencas hidrológicas con mayor descarga fluvial del país (62% a nivel nacional).
- El sistema Grijalva-Usumacinta es considerado como el sistema fluvial de mayor descarga del país ($59.4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$) y el tercero de todo Norteamérica después del Misisipi y el Atchafalaya.
- Existen al menos 37 ecosistemas lagunares y estuarinos con una superficie de 678,608 ha (43% del total nacional).
- Laguna de Términos, Campeche es considerada como el ecosistema lagunar-estuarino más importante del país por su superficie (200,108 ha), productividad natural y biodiversidad (más de 2,000 especies vegetales y animales).
- Existen 423,237 ha de manglar en la zona costera, que representan el 59 % en superficie, de todas las áreas de manglar del país.
- 1,229,231 ha de pantanos dulceacuícolas existen en su planicie costera.
- Los humedales asociados a laguna de Términos y Petenes en Campeche, más los humedales de Los Pantanos de Centla en Tabasco, tienen una superficie de 949,000 ha, que por su productividad y biodiversidad, son considerados como los más importantes de Mesoamérica.
- Más de 673 especies de aves, 249 especies de mamíferos terrestres, 24 mamíferos marinos y 329 especies de peces utilizan los humedales y lagunas costeras de la región como hábitats críticos dentro de sus ciclos de vida.
- Los arrecifes de Quintana Roo forman parte del Sistema Arrecifal Beliceño, considerado como el más importante de la región del Caribe y el segundo a nivel mundial.
- Los arrecifes de Chinchorro, Quintana Roo y Alacranes, Yucatán son considerados, como dos de los atolones más importantes del Caribe.
- Existen 19 áreas naturales protegidas a nivel federal con una superficie de 3,045,318 ha (54% porción continental y 46% porción marina).

Valor socioeconómico

- 14,756,759 personas habitan los estados costeros de la región.
- Se ubican dos de las mayores provincias petroleras del hemisferio occidental, la provincia Reforma-Tabasco y la Sonda de Campeche.
- De la zona costera y marina de la región se extraen diariamente 2.9 millones de barriles

(Continúa)

CUADRO 1. VALOR ECOLÓGICO, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA ZONA COSTERA MEXICANA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

de petróleo y 4,790 millones de pies cúbicos de gas natural. Las reservas de hidrocarburos totales para la región son de 58 mil millones de barriles de petróleo, de las cuales el 58% son reservas probadas.

- Como infraestructura petrolera existe en la zona costera y marina: 313 campos en producción, 4,269 pozos de explotación, 167 plataformas marinas, 2 refinerías, 9 centros procesadores de gas y 6 complejos petroquímicos.
 - Se extraen anualmente más de 350 mil toneladas de recursos pesqueros demersales (26% a nivel nacional) y que tienen un valor aproximado de 240 millones de dólares. El 50% de la captura de camarón y el 90% del ostión a nivel nacional se pescan en el Golfo. Otros recursos pesqueros importantes son la almeja, langosta, jaiba, pulpo, meros, pargo, guachinango, corvina, róbalo, mojarra y tiburón.
 - En la actividad pesquera se involucran más de 90,000 personas.
 - 20 puertos pesqueros se localizan en la región, como los puertos de Tampico, Tamiahua, Tecolutla, Veracruz, Sánchez Magallanes, Frontera, Ciudad del Carmen, Lerma y Yucalpetén.
 - 54 puertos (13 de ellos son puertos de altura) pesqueros, turísticos, industriales y comerciales que se ubican en el litoral. Estos puertos tienen más de 75 mil metros lineales de atraque y registran un movimiento anual superior a los 1.5 millones de pasajeros y 133 millones de toneladas de carga (79% del total nacional).
 - Con fines de protección litoral existen 59,634 metros de rompeolas, escolleras, espigones y obras de protección marginal (46.4% del total nacional).
 - Existe una oferta turística de 1,794 establecimientos y 71,254 habitaciones que representan un 22% del total nacional.
 - De los cinco centros de playa íntegramente planeados que existen en el país, Cancún, (Q. Roo) posee el 66% (21,802 cuartos) de cuartos como oferta hotelera. El estado de Quintana Roo captó 2,809 millones de dólares (34% del total nacional) como divisas que ingresaron al país en el año 2000, por concepto de turismo.
-

CUADRO 2. BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES PROPORCIONADOS POR LOS PRINCIPALES ECOSISTEMAS DE LA ZONA COSTERA Y MARINA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE. VALOR ECONÓMICO Y ECOLÓGICO

VALOR ECOLÓGICO	VALOR ECONÓMICO								
	TIPOS DE ECOSISTEMAS COSTEROS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Componentes</i>									
Recursos forestales	†	†	†		†				†
Recursos pesqueros	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Recursos silvestres	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Recursos hidrológicos	†	†	†	†	†	†		†	†
Recursos recreacionales	†	†	†	†	†	†	†	†	
<i>Funciones</i>									
Carga y recarga de acuíferos	‡	‡			‡				
Protección y estabilización litoral	‡			‡		‡	‡	‡	
Retención de sedimentos y nutrientes	‡	‡	‡		‡	‡			
Mantenimiento de la calidad del agua	‡	‡	‡		‡	‡	‡		
Soporte externo a ecosistemas y actividades humanas	‡	‡	‡		‡	‡	‡	‡	‡
Estabilización microclimática	‡	‡	‡						
Hábitat crítico	‡	‡	‡		‡	‡	‡	‡	‡
<i>Atributos</i>									
Biodiversidad	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶
Unicidad y Herencia	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶

Simbología:

1. Pantanos costeros
2. Planicie costera
3. Deltas y sistemas lagunares-estuarinos
4. Costas abiertas, bahías y playas
5. Llanuras de inundación
6. Pastos marinos
7. Arrecifes coralinos
8. Barreras e islas
9. Plataforma continental.

†: Valor de uso directo. Bienes y servicios que tienen un precio en el mercado.

‡: Valor de uso indirecto. Bienes y servicios ambientales que no tienen asignado un precio en el mercado. Sin embargo tienen un valor económico y social que puede ser estimado.

¶: Valor sin uso/preservación. Atributos y bienes ambientales que no tienen asignado un precio de mercado, pero que tienen un valor económico y social que puede ser estimado.

vegetal y usos del suelo para los últimos 10 años, los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo habrán perdido la vegetación primaria que aún poseen en un periodo de 11, 55, 25, 32 y 28 años respectivamente, y con ello los bienes y servicios ambientales que proporcionan (Zárate y Alafita 2001). La pérdida de la cobertura vegetal con otros factores, ha inducido en los seis estados, procesos de desertificación, erosión hídrica y eólica en 314, 114 km², 316,114 km² y 308,148 km² de su superficie respectivamente (INEGI-SEMARNAP 1999).

La contaminación de la zona costera y marina. Diversos estudios con visión regional han destacado los niveles de contaminación en agua, sedimentos y organismos por hidrocarburos, agroquímicos, metales pesados y microorganismos, registrados en diferentes ecosistemas de la región, como críticos y rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad nacional e internacional (Botello *et al.* 1996, CONABIO 1998, Zárate *et al.* 1999, INE-SEMARNAP 2000, SEMAR 2002). Las principales causas son la falta de planeación ambiental, infraestructura sanitaria y servicios urbanos. Como ejemplo de lo anterior, puede mencionarse el caso del estado de Quintana Roo, donde sólo el 15% de la población tiene cobertura de alcantarillado sanitario, 15% de cobertura de tratamiento de aguas residuales y 8% cobertura de rellenos sanitarios (GSTP 2002). Esta situación es muy similar para el resto de los estados de la región. En suma, el nivel y tendencias de la contaminación de los ecosistemas costeros de la región son críticos y de mantenerse, puede poner en serio riesgo su estabilidad y persistencia.

Afectaciones a población, infraestructura y actividades económicas por fenómenos y riesgos naturales. La región se caracteriza por presentar una serie de procesos y fenómenos naturales como son: a) la subsidencia por acumulación y compactación de sedimentos en zonas deltáicas, b) la depositación y erosión litoral, c) la salinización de suelos y aguas continentales, d) la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos y e) los efectos globales del cambio climático y ascenso en el nivel medio del mar (Ortíz *et al.* 1996). Estos procesos son considerados muy pocas veces en la planeación de actividades productivas, asentamientos humanos e infraestructura, lo que ha implicado la pérdida de vidas humanas, de infraestructura y de importantes recursos económicos. En las figuras 2 y 3 se presentan ejemplos de áreas de riesgo por ascenso en el nivel medio del mar para algunos sitios de la zona costera del Golfo de México y el Caribe.

CUADRO 3. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DELTÁICA DEL RÍO PAPALOAPAN POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR

FUENTES Y TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES	TAM	VER	TAB	CAM	YUC	QR
<i>Actividades petroleras</i>						
Contaminación de aire, agua, suelos y biota por derrames accidentales de hidrocarburos y la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos derivados de la extracción, procesamiento, transporte y distribución de hidrocarburos	‡	¶	¶	¶	†	‡
Alteraciones hidrológicas y fragmentación de ecosistemas por la construcción de canales, ductos, terracerías, vías de comunicación, puentes y otras estructuras	‡	¶	¶	¶	†	‡
Fragmentación de ecosistemas y cambios en los usos del suelo por la construcción de infraestructura	¶	¶	¶	¶	†	†
Consumo y contaminación de agua en procesos productivos	‡	¶	¶	†	†	†
<i>Actividades portuarias e industriales</i>						
Contaminación de agua, sedimentos y biota por la generación de residuos líquidos y sólidos generados en puertos, marinas y zonas industriales	¶	¶	†	‡	†	†
Alteración física de sedimentos, ecosistemas estuarinos y marinos, así como alteraciones en la calidad del agua marina por actividades de dragado y navegación	‡	‡	†	‡	†	†
Cambios en usos del suelo y fragmentación de ecosistemas	‡	‡	†	‡	†	‡
Consumo y contaminación de agua en procesos productivos	‡	¶	¶	†	†	†
<i>Actividad acuícola y pesquera</i>						
Alteración mecánica y física de sedimentos y vegetación sumergida en plataforma continental adyacente por actividades de pesca de arrastre	‡	‡	‡	¶	‡	†
Sobreexplotación de recursos	‡	‡	‡	‡	‡	‡
Contaminación orgánica y eutrofización de lagunas y estuarios	†	†	‡	‡	‡	†
Introducción de especies exóticas	¶	¶	‡	‡	‡	†
<i>Urbanización y turismo</i>						
Conversión de suelos y fragmentación de ecosistemas-vegetación por la construcción de infraestructura urbana y turística	‡	¶	‡	‡	‡	¶

(Continúa)

CUADRO 3. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DELTÁICA DEL RÍO PAPALOAPAN POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR

FUENTES Y TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES	TAM	VER	TAB	CAM	YUC	QR
Contaminación de agua, aire, suelos y biota por la generación de residuos líquidos, gaseosos y sólidos generados en zonas urbanas y turísticas	¶	¶	¶	¶	¶	¶
Alteración hidrológica y fragmentación de ecosistemas por la construcción de canales, vías de comunicación, puertos y otra infraestructura	‡	¶	¶	¶	‡	‡
Problemas de salud pública por contacto y consumo de agua y recursos contaminados	‡	‡	‡	‡	‡	‡
Consumo de agua	‡	‡	‡	‡	‡	‡
<i>Actividades agrícolas, ganaderas y forestales</i>						
Conversión de suelos, fragmentación de ecosistemas y vegetación por la expansión de la frontera agropecuaria y forestal	¶	¶	¶	¶	¶	‡
Contaminación de suelos, agua y biota por el uso de agroquímicos	¶	¶	¶	¶	†	†
Erosión y pérdida de suelos por deforestación	†	‡	†	‡	‡	†
Alteración hidrológica por canalización y trabajos de irrigación. Salinización de tierras	¶	‡	¶	¶	†	†
<i>Fenómenos y procesos naturales que inducen riesgo</i>						
Problemas de erosión y acumulación litoral por fenómenos hidrometeorológicos.	†	‡	†	†	¶	¶
Áreas de riesgo y vulnerabilidad de inundación e intrusión salina por ascenso en el nivel medio del mar.	†	‡	¶	¶	‡	‡
Subsidencia por acumulación y compactación de sedimentos	†	‡	¶	¶	†	‡
<i>Actividades transfronterizas</i>						
Contaminación de agua, litoral, biota y recursos pesqueros por hidrocarburos y residuos sólidos generados fuera del país y transportados por corrientes y deriva litoral.	†	‡	‡	‡	‡	‡

Tam: Tamaulipas. Cam: Campeche. Ver: Veracruz. Yuc: Yucatán. Tab: Tabasco.

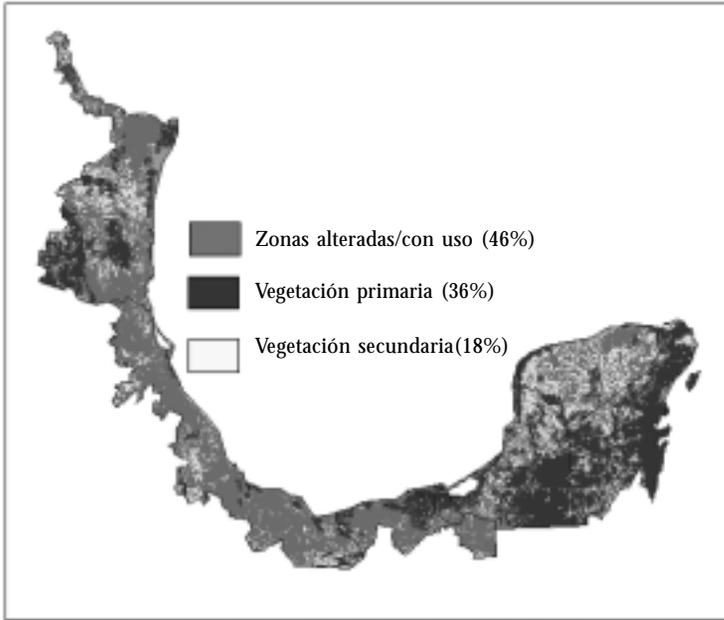
QR: Quintana Roo.

†: impacto poco importante

‡: impacto importante

¶: impacto muy importante

FIGURA 1. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS ESTADOS DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

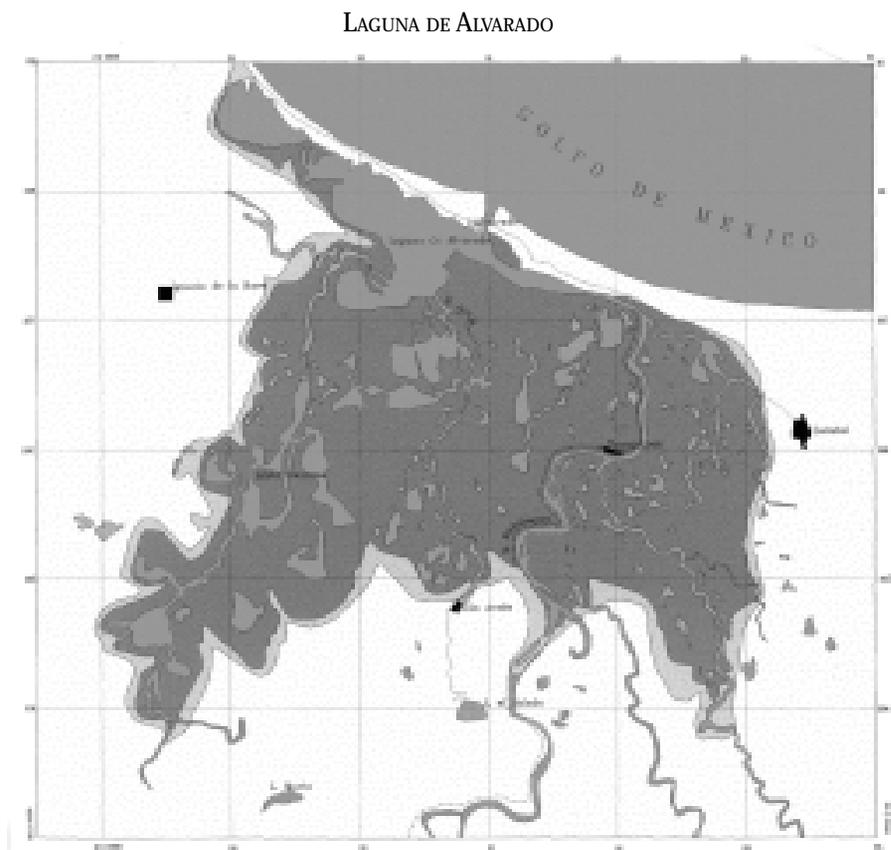


Fuente: Zárate *et al.* 2003.

Como puede apreciarse en el anexo 1 y en el cuadro 4, existe un gran cúmulo de instrumentos legales y jurídicos a nivel federal y estatal que inciden directa e indirectamente sobre el manejo y gestión de la zona costera y sus recursos; sin embargo, su limitada aplicación y cumplimiento por todos los sectores involucrados, así como la falta de normatividad con visión ecosistémica, de vigilancia y gestión, han contribuido al creciente deterioro de la zona costera y marina de la región y pérdida de importantes recursos naturales.

Además del marco jurídico nacional, México ha participado y se ha comprometido en un gran número de acuerdos y tratados internacionales relacionados con la gestión y el manejo de la zona costera y marina (anexo 2), sin embargo los resultados y el cumplimiento de tales compromisos han sido muy limitados.

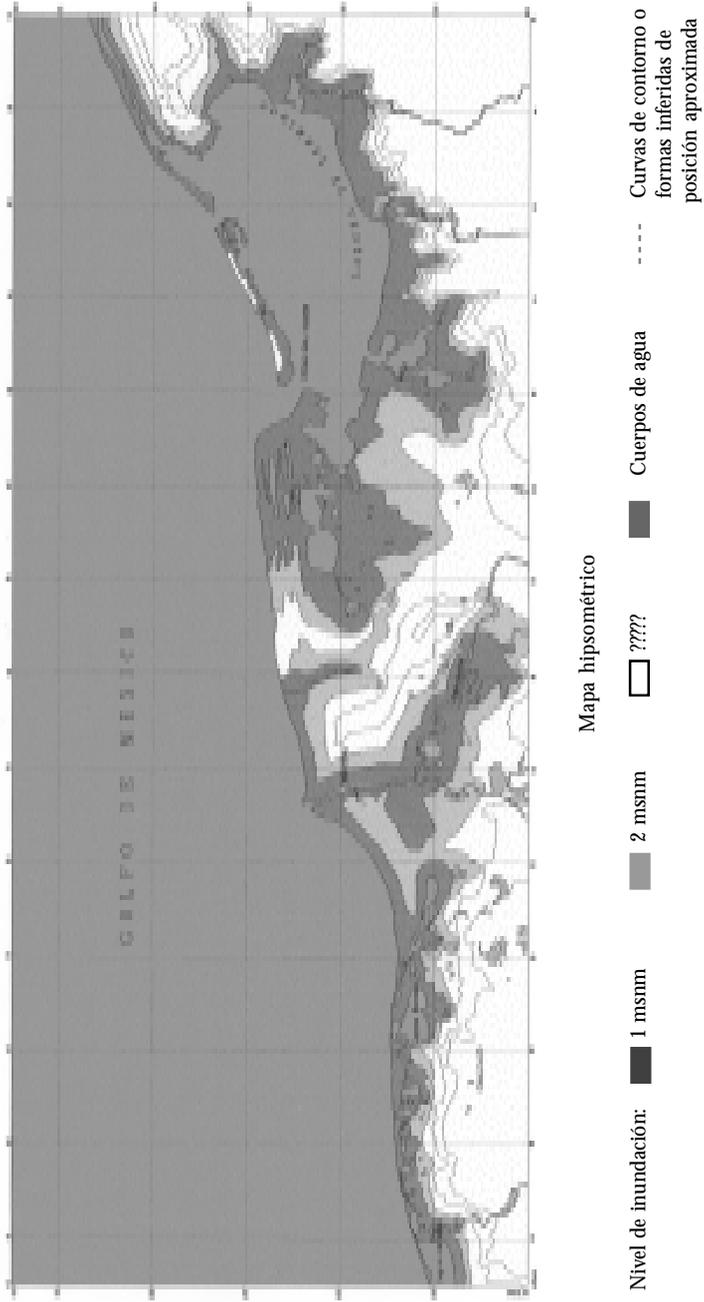
FIGURA 2. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DELTÁICA DEL RÍO PAPALOAPAN POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR.



Mapa hipsométrico

- Nivel de inundación: ■ 1 msnm ■ 2 msnm □ ????
- Cuerpos de agua ■ Poblados - - - - Carreteras

FIGURA 3. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DEL COMPLEJO DELTAÍCO DEL SISTEMA GRIJALVA-ÚSUMACINTA POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR



Por lo anterior y considerando la gran diversidad de recursos, ecosistemas, problemas, usuarios y sectores involucrados con las zonas costeras de la región y el país, es urgente visualizar dos escenarios: a) adecuar, fortalecer y complementar el marco jurídico-normativo actual aplicable a la zona costera y b) definir un instrumento legal específico para este espacio ecogeográfico como puede ser una ley para el Manejo de la zona costera. Ambos escenarios deben estar orientados a integrar y armonizar las diferentes leyes y reglamentos, así como las responsabilidades y atribuciones de las instituciones de la administración pública en los diferentes niveles de gobierno y en general de todos los actores involucrados en el uso, gestión y manejo de la zona costera y sus recursos (Zárate *et al.* 1999).

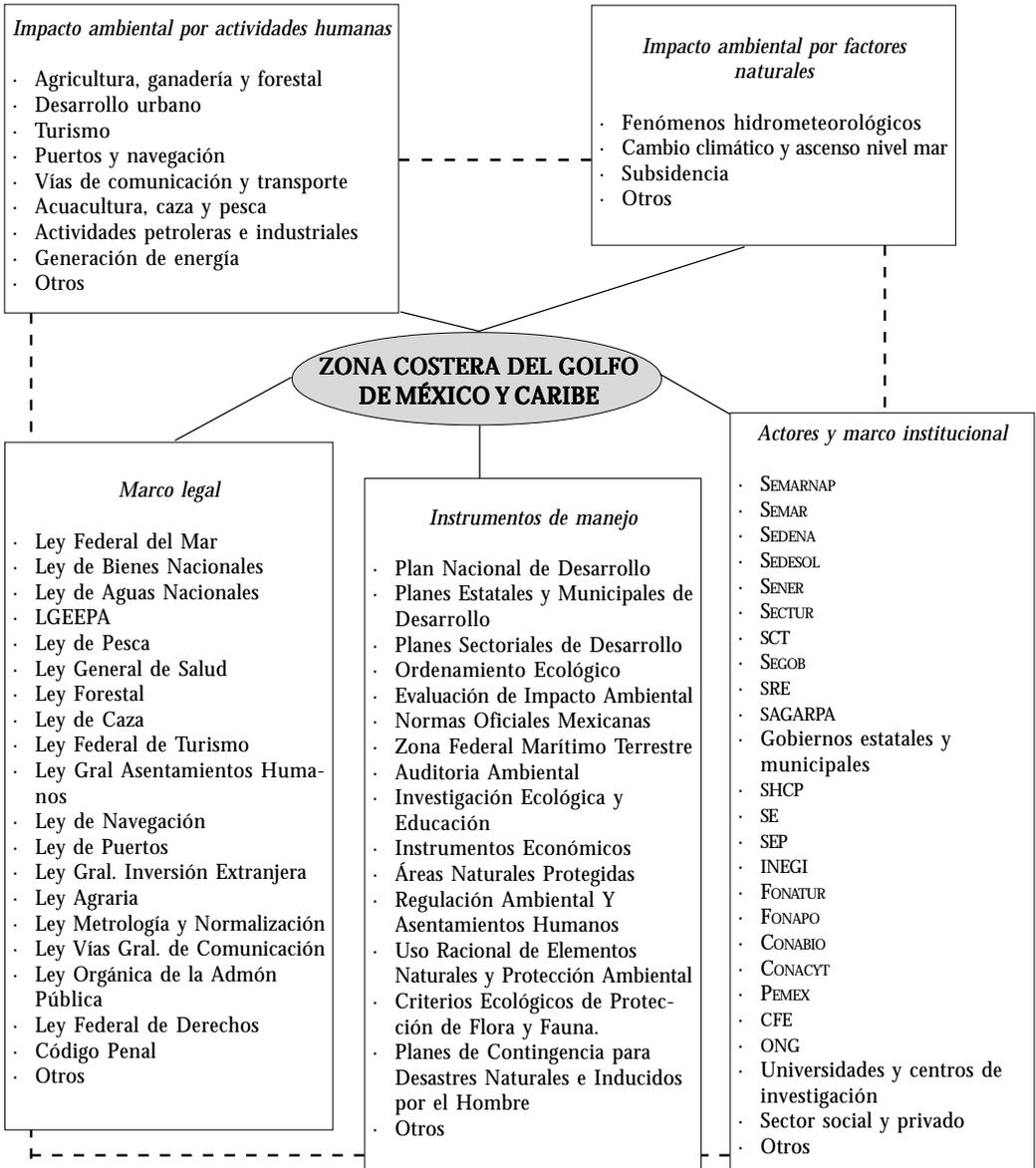
Marco institucional

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) es la dependencia responsable de las políticas y programas ambientales en el país y por lo tanto del manejo y gestión de su zona costera. Sin embargo, en el uso y manejo de la zona litoral intervienen un sin número de dependencias a nivel federal, estatal y municipal (figura 4). Desde el punto de vista institucional existen tres problemas importantes para el uso y manejo eficiente de la zona costera a nivel nacional y regional (Zárate 2003):

- La SEMARNAT no ha definido una política, programa o instrumento de carácter nacional o regional que oriente el desarrollo hacia un manejo integrado de la zona costera de la región.
- Los diferentes sectores públicos a nivel federal, estatal y municipal que inciden en el uso y gestión de recursos costeros, por regla general, definen sus políticas y programas de desarrollo sin considerar criterios ambientales y mucho menos la importancia estratégica y fragilidad que tienen los ecosistemas costeros de la región. Esto ocasiona problemas ambientales severos, traslapes de funciones y conflicto de intereses.
- Algunos sectores de desarrollo han realizado esfuerzos institucionales por abordar la problemática de la zona costera, desafortunadamente han sido planteados con visiones sectoriales y sin vinculación aparente.

Por lo anterior y por el creciente deterioro ambiental, es urgente que la SEMARNAT defina una estrategia o instrumento para el manejo integral de la

Figura 4. Factores a instrumentos que inciden en la gestión y el manejo de la zona costera del Golfo de México y Mar Caribe (Zárate *et al.*, 1999).



zona costera (MIZC), que considere por una parte el fortalecimiento la capacidad institucional de la Secretaría para la atención de la problemática ambiental, y por la otra conformar y consolidar un grupo interdisciplinario de coordinación, planeación y seguimiento para el MIZC.

INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO

Los problemas de la zona costera en México, han sido abordados históricamente en la gestión pública de manera desvinculada. Aunque existen esfuerzos institucionales para manejar de forma integral este espacio eco-geográfico, que han sido planteados desde visiones sectoriales (SEMARNAT 2001).

El *Programa de medio ambiente 2001-2006* reconoce la importancia estratégica que tiene la zona costera del país en términos de ecosistemas, recursos, bienes y servicios ambientales (SEMARNAT 2001). Sin embargo, no considera la definición de una política, programa estratégico o instrumento de planeación y gestión ambiental a nivel nacional que oriente su manejo con un enfoque integral y multisectorial.

La falta de un instrumento *ad hoc* que permita la integración de políticas y programas que inciden directa o indirectamente en la zona costera, ha ocasionado en ella efectos negativos como el traslape de atribuciones, conflicto de intereses e incompatibilidad entre los diferentes sectores de desarrollo a nivel federal, regional, estatal y municipal, así como altos costos económicos e impactos ambientales significativos (Zárate 2003). Por lo tanto, es evidente la urgente necesidad de definir e implementar en el corto plazo un Programa Nacional de Manejo Integrado para la Zona Costera y en el caso particular de la región sujeto del presente análisis, un Programa de Manejo Integral de la Zona Costera del Golfo de México y el Caribe, que permita una integración real de políticas, así como una planeación multisectorial con enfoque de ecosistemas (Zárate *et al.* 1999 y 2003, Yáñez-Arancibia y Day 2003, Zárate y Yáñez-Arancibia 2003).

ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

No obstante que el Ordenamiento Ecológico (OE), es uno de los principales instrumentos de política ambiental para la planeación a diferentes escalas, sólo existen decretados para la región seis programas de OE, todos ellos en el

estado de Quintana Roo, con una superficie de 6,347.2 km². Esta pequeña área equivale al 1.75% de la superficie de los seis estados de la región. Al comparar este porcentaje y observar la figura 1, se concluye que el esfuerzo por planear y ordenar ambientalmente la zona costera de la región es mínimo, en comparación con el crítico grado de fragmentación en que se encuentran los ecosistemas y recursos que son estratégicos para el país.

Las áreas que actualmente cuentan con programas de OE tienen el problema de que su delimitación y zonificación carecen de criterios administrativos, científicos, legales y técnicos acordes con la estructura y dinámica de los ecosistemas y recursos costeros, lo que restringe el manejo integrado. Así mismo, los modelos de uso del suelo y el manejo de ecosistemas y recursos no consideran la capacidad de carga que éstos tienen en términos de extracción de recursos, pérdida de cobertura vegetal y generación de residuos líquidos y sólidos, entre otros aspectos. La inexistencia de mecanismos de evaluación y monitoreo regional permanente que permitan la retroalimentación y actualización de los modelos de uso de ecosistemas y recursos definidos en los OE decretados en la región es otra limitante importante de su aplicación (Zárate 2003).

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es otro de los principales instrumentos de política ambiental en el país. No obstante su importancia, presenta una serie de limitaciones y debilidades para su aplicación en proyectos costeros, las principales son: a) la definición de la zona de influencia de los proyectos, b) la identificación y evaluación de los impactos en bienes y servicios ambientales, c) la falta de evaluación económica y social del impacto ambiental, d) escasa valoración de riesgos naturales, e) la identificación y evaluación de impactos acumulativos, sinérgicos y de tipo regional, y f) la definición y ejecución de programas de monitoreo y supervisión ambiental (Yáñez-Arancibia *et al.* 1996, Zárate *et al.* 1996 y 1999).

En el país, la EIA de planes, políticas y programas de desarrollo mejor conocida como Evaluación ambiental estratégica (EAE), no está contemplada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, por lo que se planifica e implementa por el sector público o privado que los desarrolla (Zárate *et al.* 1996). Esta situación es delicada, pues no se evalúan las implicaciones ambientales de la multiplicidad de proyectos en la zona costera, que se caracterizan por ser de consecuencias ambientales a nivel regional.

Como ejemplo pueden mencionarse los recientes programas de Petróleos Mexicanos para la exploración y extracción de aceite y gas en la zona costera y marina del Golfo de México. La reflexión sobre estos programas es si han evaluado las implicaciones ambientales en sus zonas de influencia, los impactos de carácter regional, acumulativos, sinérgicos y transfronterizos, así como las respectivas medidas regionales para su mitigación. En caso contrario para este y otros programas y políticas de desarrollo es prioritario acordar y realizar las EAE respectivas.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Las áreas naturales protegidas (ANP) representan una de las herramientas más sólidas de la política ambiental del país, por conformar un instrumento indispensable para la protección y conservación de ecosistemas y recursos. Actualmente, existen decretadas a nivel federal para la región un total de 19 ANP, las cuales suman una superficie total 2,977,610 ha, que representan el 9.3% de toda la superficie protegida de los seis estados involucrados (cuadro 4). Aunque es una superficie importante, no refleja la necesidad actual de proteger, conservar y utilizar de manera sustentable áreas o ecosistemas costeros en buen estado de conservación y gran biodiversidad que aún existen en la zona costera de la región sin ser decretados y manejados como ANP a nivel federal o estatal (figura 1).

Las principales limitaciones de las ANP costeras de la región son que : a) en algunos casos los criterios con que han sido delimitadas y zonificadas, no corresponden al manejo estructural y funcional de los ecosistemas costeros involucrados, b) la escasa planeación del desarrollo urbano existente en áreas costeras protegidas incrementa la presión de uso por generación de residuos, pérdida de cobertura vegetal y construcción de infraestructura, así como la aplicación *a posteriori* de medidas de mitigación, c) la presión demográfica industrial y turística sobre estas áreas, d) el desorden y ausencia de regulación en el acceso de recursos marinos y costeros, e) la contaminación por fuentes puntuales y no puntuales, f) los conflictos de intereses entre usuarios (Pemex, turismo, puertos, industria pesquera), g) la limitada implementación de programas de monitoreo ambiental, h) los limitados recursos para su operación, entre las más importantes (CONANP 2003).

CUADRO 4. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN LA ZONA COSTERO-MARINA
DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

CATEGORÍA	ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS/ ESTADOS INVOLUCRADOS	SUPERFICIE (HA)
Reservas de la biosfera	Arrecifes de Sian Ka'an (Quintana Roo)	34,927
	Banco Chinchorro (Quintana Roo)	144,360
	Los Tuxtlas (Veracruz)	155,122
	Pantanos de Centla (Tabasco)	302,707
	Ría Lagartos (Yucatán)	60,347
	Sian Ka'an (Quintana Roo)	528,148
	Los Petenes (Campeche)	282,858
	Ría Celestum (Yucatán y Campeche)	81,482
	<i>Subtotal</i>	1,589,951
Parques nacionales	Arrecife Alacranes (Yucatán)	333,767
	Arrecifes de Cozumel (Quintana Roo)	11,988
	Arrecifes de Puerto Morelos (Quintana Roo)	9,067
	Isla Contoy (Quintana Roo)	5,126
	Isla Mujeres, Cancún y Punta Nizuc (Quintana Roo)	8,673.06 52,239
	Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz)	664
	Tulum (Quintana Roo)	17,949
	Arrecifes de Xcalac (Quintana Roo)	439,473.06
	<i>Subtotal</i>	
Áreas de protección de flora y fauna	Laguna de Términos (Campeche)	705,016
	Uaymil (Quintana Roo)	89,118
	Yum Balam (Quintana Roo)	154,052
	<i>Subtotal</i>	948,186
	<i>Total</i>	2,977,610
	117 áreas protegidas a nivel nacional	12,731,109

Fuente: INEGI-SEMARNAP 1999, CONANP 2003.

ZONA FEDERAL MARÍTIMO TERRESTRE

La zona costero-marina del país ha sido definida legalmente para su administración y manejo en la parte continental como la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) y en la parte marina como Mar Territorial (MT) y la Zona Económica Exclusiva (ZEE).

La aplicación de los límites administrativos definidos por la ZOFEMAT, MT y ZEE para fines de un manejo integral, tienen el inconveniente de no reflejar la extensión y límites naturales de la zona costero-marina. En el caso de la ZOFEMAT, la zona costera puede extenderse más allá de los límites fijados por esta y en la zona marina a una distancia menor de los límites establecidos por el MT y ZEE. Por lo anterior y para efectos de un MIZC para la zona costera de la región, es necesario ajustar los límites administrativos actuales o proponer otros acorde con la estructura y dinámica de la zona costera, como pueden ser las fronteras naturales en el continente y el mar, donde los procesos continentales y marinos, respectivamente, tienen influencia espacial y temporal (Zárate *et al.* 1999).

OTROS INSTRUMENTOS

En el uso, manejo y administración de la zona costera del país participan directa o indirectamente otros instrumentos previstos por la LGEEPA como instrumentos de política ambiental: a) normas oficiales mexicanas, b) auditoría ambiental, c) investigación ecológica y educación, d) instrumentos económicos, e) de regulación ambiental y asentamientos humanos, f) uso racional de elementos naturales y protección ambiental, y g) criterios ecológicos de protección de flora y fauna. Todos estos instrumentos carecen de una visión que permita atender integral y eficazmente los problemas ambientales y necesidades de manejo de los ecosistemas y recursos naturales de la zona costera del Golfo de México y el Caribe.

ESFUERZOS SOBRE MIZC GOLFO/CARIBE

ANTECEDENTES

Desde 1990 se han desarrollado diversos foros y reuniones técnicas a nivel nacional, regional e internacional, con el fin de analizar los problemas ambientales prioritarios de la zona costera del Golfo de México y el Caribe, y

para la definición de acciones y medidas orientadas hacia su gestión y manejo integrado (cuadro 5).

En el ámbito regional y bilateral los 11 estados que limitan con el Golfo de México (Florida, Alabama, Misisipi, Louisiana, Texas, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) conformaron en 1995 el instrumento denominado Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Desde entonces, este instrumento, a través de conferencias anuales, reúne a funcionarios a nivel federal y estatal, empresarios, inversionistas, científicos y ciudadanos para trabajar en la definición de acuerdos y proyectos orientados hacia el desarrollo sustentable de la región.

En el ámbito federal, la SEMARNAT ha integrado recientemente un Grupo de Seguimiento para Mares y Costas para armonizar criterios, sincronizar acciones y coordinar el desarrollo de una estrategia común de corto y mediano plazo. Los objetivos de este grupo son: a) fortalecer la capacidad institucional para la atención de la problemática ambiental de la zona costera, b) consolidar un grupo intersectorial de coordinación y seguimiento de los asuntos relacionados con mares y costas, c) sentar las bases de una estrategia de gestión ambiental integrada y de los mecanismos para su desarrollo y d) construir los ejes ambientales de una política nacional para mares y costas (Martínez y Lacy 2003).

Reconociendo lo anterior, así como: a) la gran importancia ecológica, social, económica y geopolítica que tiene la zona costera del Golfo de México y el Caribe para el país y a nivel regional (Gran Caribe), b) los graves problemas de contaminación, impacto y riesgo ambiental que enfrenta y que están comprometiendo seriamente su integridad ecológica, y c) la urgente necesidad de implementar estrategias e instrumentos de planeación, manejo y gestión integral, el Instituto de Ecología A. C. a través del Programa de Recursos Costeros implemento en el 2001, el instrumento denominado Panel Manejo Integral de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe (Panel MIZC Golfo/Caribe).

PANEL MIZC GOLFO/CARIBE

El Panel es un instrumento técnico-científico de carácter regional y permanente para opinar, analizar y recomendar lo pertinente hacia la planeación, gestión, y toma de decisiones sobre el MIZC del Golfo de México y el Mar Caribe (figura 5).

El Panel esta conformado por los principales actores y protagonistas que inciden en el uso, manejo y gestión de la zona costera de la región a nivel federal, estatal y municipal. También participan importantes actores de los

CUADRO 5. REUNIONES Y TALLERES TÉCNICO-CIENTÍFICOS DESARROLLADOS PARA LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

1990	Primer Simposio USA-México, El Estatus Económico y Ambiental del Golfo de México. New Orleans LA, Diciembre.
1992	Diplomado, Economía Ecológica en Ecosistemas Costeros del Golfo de México. Campeche México, Febrero.
1992	Asamblea Delta, Preservación del Ambiente Global y Desarrollo de una Visión Compartida para el Golfo de México. New Iberia LA, Marzo.
1992	Segundo Simposio USA-México, El Golfo de México un Mar Compartido. Tarpon Springs FL, Diciembre.
1993	Simposio EUA-México, Manejo Ambiental de Mares Costeros Protegidos, El Golfo de México EMECS'93. Baltimore MD, Noviembre.
1995	Tercer Simposio USA-México, El Golfo de México Navegando Hacia el Futuro. Corpus Christi TX, Marzo.
1995	Primera Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Campeche, Campeche. México, Mayo.
1995	1ra Reunión Mesa de Salud, Ecología y Medio Ambiente. Conferencia Gobernadores Golfo de México. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver. Septiembre.
1995	4to Simposio EUA-México, El Golfo de México Gran Ecosistema Marino, Evaluación, Sustentabilidad y Manejo. St. Petersburg FL, Septiembre.
1996	Segunda Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Mobile, Alabama, USA. Mayo
1998	Taller, TEMA Redes del Gran Caribe en Gestión Integrada de Áreas Costeras IOCARIBE. Cartagena Colombia, Septiembre.
1998	Tercera Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Tampa, Florida.
2000 (febrero)	Conferencia, Perspectivas de Norte América y Europa sobre Política Oceánica y Costera COSU. Cancún México, Noviembre.
2000	Cuarta Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Villahermosa, Tabasco. México. Agosto.
2000	Taller, Estrategia Ambiental para la Gestión Integrada de la Zona Costera de México, Retos para el Desarrollo Sustentable. INE-Semarnat, México DF, Noviembre.

(Continúa)

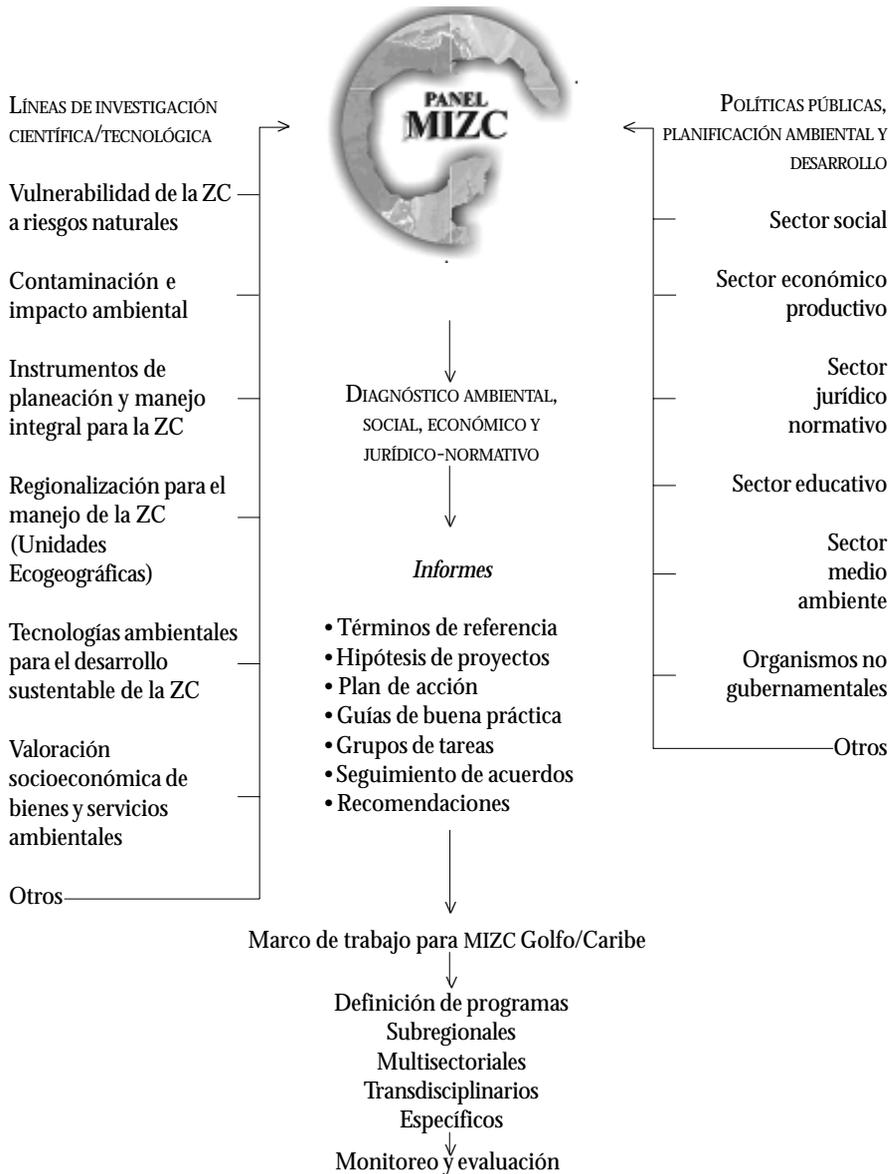
CUADRO 5. REUNIONES Y TALLERES TÉCNICO-CIENTÍFICOS DESARROLLADOS PARA LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE.

2001	Primer Panel, Necesidades para la Gestión y Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto de Ecología A.C., Semarnat, Xalapa Ver, Noviembre.
2002	Quinta Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Boca del Río, Veracruz. México, Enero.
2002	Taller, Cartografía de Regiones Ecológicas Estuarinas y Marino Costeras de América del Norte CCA. Charleston, USA. Marzo.
2002	Taller, La Sustentabilidad Costera, Comité Nacional Preparatorio Johannesburgo'02. Campeche Campeche, México. Julio.
2002	Primer Taller GIWA Evaluación Global de Aguas Internacionales, Subregión-2 Golfo de México GIWA. Veracruz, Veracruz, México. Agosto.
2003	Segundo Panel, Necesidades para la Gestión y Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto de Ecología A.C., Semarnat, Xalapa Veracruz, Marzo.
2003	Segundo Taller GIWA. Evaluación Detallada. Análisis de Cadena Causal. Análisis de Opciones de Política. Evaluación Global de Aguas Internacionales, Subregión-2 Golfo de México GIWA. Xalapa, Veracruz, México. Junio.
2003	Seminario Internacional Prácticas Ambientales en las Actividades de Exploración y Producción Costa Afuera. Pemex – Semarnat. Veracruz, Veracruz. México. Abril.
2003	Acuerdo de los Estados del Golfo de México. Reunión de Mesas de Trabajo. Agenda Salud, Ecología y Medio Ambiente. Mérida Yucatán, México. Octubre.

Estados Unidos de América y diversas instituciones y ONG internacionales. Los objetivos del Panel MIZC Golfo/Caribe son (Yáñez-Arancibia y Zárate 2001, Zárate y Yáñez-Arancibia 2003):

- Identificar y evaluar los principales problemas ambientales, sociales, económicos y normativos que enfrenta la zona costera del Golfo y Caribe y que dificultan y/o favorecen el proceso de su desarrollo sustentable.

FIGURA 5. PANEL MANEJO INTEGRAL DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE (PANEL MIZC GOLFO/CARIBE)



CUADRO 3. PROBLEMAS Y ASUNTOS ESTRATÉGICOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS
POR EL PANEL MIZC GOLFO/CARIBE

Problemas ambientales prioritarios

- Fragmentación y pérdida de ecosistemas, cobertura vegetal, biodiversidad y suelos por el aumento de la frontera agropecuaria, urbana e industrial.
- Contaminación de acuíferos, suelos, ríos y zona costera, por el vertido de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales, entre otros.
- Contaminación de agua y suelo por residuos sólidos urbanos e industriales, entre otros.
- Contaminación atmosférica.
- Problemas de salud pública derivados por la contaminación de agua, suelo y organismos.
- Sobreexplotación y agotamiento de recursos.
- Afectaciones a población, infraestructura y actividades económicas por fenómenos y riesgos naturales.
- Erosión y acreción litoral por infraestructura portuaria/industrial y aumento en la frontera agropecuaria en las cuencas medias y altas.

Asuntos estratégicos para el MIZC

- Ausencia de un marco legal-administrativo y de un instrumento de coordinación intergubernamental e intersectorial, que permita el MIZC del Golfo/Caribe.
 - Carencia de un diagnóstico ambiental regional actual, consensuado a nivel federal y estatal.
 - Carencia de un sistema de información ambiental para el MIZC.
 - Resolución limitada de conflictos entre sectores.
 - Limitada aplicación de criterios ambientales y de sustentabilidad en la planeación sectorial.
 - Urbanización costera no planificada, con limitada infraestructura y servicios básicos.
 - Acceso limitado a tecnologías ambientales.
 - Limitada coordinación entre la definición y aplicación de los instrumentos de política ambiental con visión de ecosistema y cuencas.
 - Ausencia de programas de difusión, capacitación y educación ambiental orientados hacia el MIZC.
 - Limitada participación corresponsable de la sociedad en la planeación ambiental y toma de decisiones, así como en el aprovechamiento y conservación de recursos.
 - Promoción del fortalecimiento a la gestión estatal y municipal.
 - Cumplimiento y fomento de acuerdos internacionales, regionales y bilaterales.
-

- Coadyuvar en la definición de acciones y metas prioritarias para la gestión y el manejo integrado de la zona costera del Golfo y Caribe.
- Establecer un grupo de trabajo transdisciplinario e intersectorial para orientar agendas hacia el MIZC de la región.
- Proponer y definir los términos de referencia para el Programa MIZC-Golfo/Caribe.

El Panel MIZC Golfo/Caribe como instrumento técnico-científico, interactúa con la Semarnat, el Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México y demás actores involucrados en el uso y manejo de recursos de la región, para coadyuvar en la armonización de criterios, sincronización de acciones y desarrollo de una estrategia común de corto, mediano y largo plazo hacia el MIZC.

Como resultado de dos reuniones técnicas, el Panel MIZC Golfo/Caribe ha identificado y consensuado como problemas ambientales prioritarios y asuntos estratégicos para ser atendidos por estrategias de MIZC, los presentados en el cuadro 3 (Yáñez-Arancibia y Zárate 2001, Zárate y Yáñez-Arancibia 2003).

PROPUESTA DEL PROGRAMA MIZC GOLFO/CARIBE

En congruencia con lo anteriormente planteado, el Panel trabaja en la elaboración de una propuesta para el Programa de Manejo Integral de la Zona Costero-Marina del Golfo de México y el Caribe (Programa MIZC Golfo/Caribe). Los objetivos y funciones que propone para este programa son (Zárate y Yáñez-Arancibia 2003):

- Preservar y proteger la productividad, biodiversidad y el funcionamiento básico de los ecosistemas costeros.
- Promover y garantizar el desarrollo sustentable de actividades económicas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
- Contener, prevenir y revertir la contaminación y el deterioro de la zona costera desde las actividades desarrolladas en tierra y mar.
- Restaurar y rehabilitar áreas, ecosistemas y procesos ecológicos críticos dañados.
- Reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, infraestructura y actividades productivas a los riesgos naturales.
- Promover la integración y elaboración de políticas con consenso social para el desarrollo regional sustentable.

- Fortalecer y armonizar el manejo sectorial de la zona costera.
- Institucionalizar el Programa MIZC con una perspectiva de largo plazo.
- Definir y operar planes y estrategias de MIZC a nivel bilateral y regional para atender eficazmente los asuntos y problemas ambientales estratégicos del Golfo de México y Caribe.

El Panel propone que, como agenda de primera generación, el Programa MIZC Golfo/Caribe, esté conformado por diez subprogramas, los cuales se muestran en la figura 6. Los objetivos, proyectos y acciones que el Panel propone para cada uno de los subprogramas del Programa MIZC Golfo/Caribe se resumen en el cuadro 4.

FIGURA 6. COMPONENTES PRINCIPALES DEL PROGRAMA MIZC GOLFO/CARIBE PROPUESTOS POR EL PANEL MIZC GOLFO/CARIBE (ZÁRATE Y YÁÑEZ-ARANCIBIA, 2003; ZÁRATE ET AL., 2003).

1. Diagnóstico ambiental
 2. Ordenamiento ecológico y evaluación de impacto ambiental
 3. Prevención y control de la contaminación de origen terrestre y marino
 4. Vulnerabilidad ambiental de la zona costera
 5. Conservación y aprovechamiento sustentable de ecosistemas y recursos
 6. Sistema de información ambiental para el MIZC
 7. Monitoreo de la calidad ambiental
 8. Acción a nivel regional y bilateral
 9. Tecnologías ambientales para el desarrollo sustentable.
 10. Investigación, educación y difusión ambiental
 11. Otros
- 
- Programa MIZC Golfo/Caribe

CUADRO 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

SUBPROGRAMA	COMPONENTES Y OBJETIVOS
1. Diagnóstico ambiental para la Zona Costera del Golfo/Caribe	<ul style="list-style-type: none"> · Estado actual de los ecosistemas, recursos y territorio a nivel regional y estatal. · Identificación y evaluación de las principales fuentes de contaminación e impacto ambiental. · Evaluación de riesgos naturales. · Recursos, ecosistemas y regiones con problemas ambientales críticos. · Criterios para la delimitación de la zona costera hacia el MIZC. · Limitaciones y necesidades de los instrumentos de política ambiental para su aplicación en la zona costera. · Programas y proyectos sectoriales que inciden en la zona costera. · Tecnologías ambientales aplicables a la zona costera. · Criterios de manejo por ecosistemas tipo de la zona costera.
2. Ordenamiento Ecológico y Evaluación de Impacto Ambiental de la Zona Costera.	<ul style="list-style-type: none"> · Aceptación del OE como un instrumento base para la planeación a nivel regional, sectorial, estatal y municipal. · Aceptación de la EIA y EAE como instrumento para la determinación de la viabilidad de actividades, proyectos, planes, programas y políticas de desarrollo. · Definición y realización de Ordenamientos Ecológicos Regionales con visión integral de ecosistemas y manejo de cuencas. · Definición de estrategias integrales para la articulación entre instrumentos de política ambiental (Evaluación de Impacto Ambiental, Áreas Naturales Protegidas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros, Ordenamientos Urbanos). · Definición de pautas y criterios de manejo integral por ecosistemas y sectores productivos.
3. Prevención y Control de la Contaminación de Origen Terrestre y Marino.	<ul style="list-style-type: none"> · Identificación de fuentes terrestres. Inventario regional de fuentes terrestres y marinas de contaminación Sistema de información geográfica (SIG). · Determinación de niveles y estudios de base sobre la contaminación de agua, suelos, organismos y ecosistemas. · Definición y aplicación de medidas técnicas, legales y administrativas para la prevención y control de la contaminación. Programa de Manejo Integral de Residuos Líquidos y Sólidos.

CUADRO 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

SUBPROGRAMA	Evaluación y remediación de recursos y ecosistemas dañados. COMPONENTES Y OBJETIVOS
4. Vulnerabilidad Ambiental de la Z. C. del Golfo/Caribe.	<ul style="list-style-type: none"> · Definición de parámetros intercalibrados para el monitoreo y seguimiento. · Definición de proyectos de inversión para el control y prevención de la contaminación. · Evaluación de los efectos en la zona costera por cambio climático, ascenso en el nivel medio del mar, fenómenos hidrometeorológicos, subsidencia, depositación y erosión costera, marea roja, otros. · Atlas de riesgos naturales y áreas amenazadas. · Sistema de Información Ambiental para la Evaluación de Riesgos. · Coordinación del programa para la actualización de ordenamientos urbanos costeros y ZOFEMATAC.
5. Conservación y Aprovechamiento Sustentable de Ecosistemas y Recursos	<ul style="list-style-type: none"> · Protección y manejo de ecosistemas y recursos costeros críticos. · Promoción del manejo sustentable de recursos, especialmente la eficiencia en el uso del agua y la energía. · Desarrollo sustentable de acuicultura y pesquerías con perspectiva ambiental (protección de hábitats críticos). · Participación corresponsable de grupos sociales en la conservación y aprovechamiento sustentable de recursos. · Evaluación, restauración, remediación y rehabilitación de ecosistemas y recursos deteriorados.
6. Sistema de Información Ambiental para el Manejo Integral de la Zona Costera.	<ul style="list-style-type: none"> · Cartografía e inventarios actuales de ecosistemas, recursos, problemas/oportunidades. · SIA-MIZC para fortalecer la planeación, gestión ambiental y toma de decisiones con la mejor información disponible, así como para la difusión, intercambio y consulta.
7. Monitoreo Calidad Ambiental de la Zona Costera.	<ul style="list-style-type: none"> · Definición de índices e indicadores de calidad ambiental para la zona costera. · Definición del sistema de monitoreo con base en la coordinación de bases de datos sectoriales y académicos. · Elaboración periódica de informes electrónicos.

CUADRO 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

SUBPROGRAMA	COMPONENTES Y OBJETIVOS
8. Acción a nivel regional y bilateral	<ul style="list-style-type: none"> · Mecanismos para el fortalecimiento e implementación de acuerdos internacionales. · Definición e implementación de acuerdos bilaterales para el manejo de recursos estratégicos y la atención a problemas prioritarios. · Identificación y aplicación de tecnologías ambientales para la prevención y manejo de la contaminación.
9. Programa Tecnologías ambientales para el desarrollo sustentable	<ul style="list-style-type: none"> · Identificación y aplicación de tecnologías ambientales para el aprovechamiento sustentable de recursos costeros. · Identificación y aplicación de tecnologías ambientales para el desarrollo de infraestructura costera y de tecnologías para la generación de energía renovable.
10. Programa de investigación, educación y difusión ambiental	<ul style="list-style-type: none"> · Promover procesos de educación, capacitación, comunicación y fortalecimiento de la participación ciudadana relativos a la protección de la zona costera y el aprovechamiento sustentable de recursos. · Promover proyectos de investigación con carácter orientado y transdisciplinario, para la protección, aprovechamiento y manejo de ecosistemas y recursos costeros. · Elaborar libros, manuales y guías sobre el MIZC, así como guías y materiales de difusión y capacitación ambiental.

Fuente: Zárate y Yáñez-Arancibia, 2003; Zárate *et al.*, 2003.

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

Marco legal federal

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículos 25 a 27, 73 y 115)

Ley de Planeación

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

- Reglamento en Materia de Impacto Ambiental
- Reglamento en Materia de Ordenamiento Ecológico
- Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera
- Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos
- Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido

Ley General de Bienes Nacio-nales

Ley de Aguas Nacionales

- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Ley de Pesca

- Reglamento de la Ley de Pesca

Ley Forestal

- Reglamento de la Ley Forestal

Ley de Vías Generales de Comunicación

- Reglamento del Artículo 124 de la Ley de Vías Generales de Comunicación

Ley Federal del Mar

- Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo-Terrestre y Terrenos Ganados al Mar
- Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

Ley Minera

Ley de Vida Silvestre

Ley Federal de Caza

Ley Agraria

Ley Federal de Turismo

- Reglamento para la Prestación del Servicio Turístico de Buceo
- Reglamento de la Ley Federal de Turismo

Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas

(Continúa)

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

Ley General de Asentamientos Humanos

Ley de Conservación del Suelo y Agua

Ley General de Salud

Ley de Navegación

- Reglamento de la Ley de Navegación

Ley de Puertos

- Reglamento de la Ley de Puertos

Ley General de Asentamientos Humanos

Ley General de Inversión Extranjera

Ley Federal sobre Metrología y Normalización

Ley Orgánica de la Administración Pública

Ley Federal de Derechos

Código Penal Federal

Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo-Terrestre y Terrenos Ganados al Mar

Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

Reglamento de Parques Nacionales e Internacionales

Reglamento del Registro Público de la Propiedad

Reglamento Interior de la Comisión Intersecretarial de Saneamiento Ambiental

Reglamento para la Determinación de Coeficientes de Agostadero

Decretos de Áreas Naturales Protegidas Federales

- Reservas de la Biosfera (6)
- Parques Nacionales (7)
- Áreas de Protección de Flora y Fauna (3)
- En Recategorización (1)

Normas Oficiales Mexicanas

- NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.

(Continúa)

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

- NOM-002-PESC-1993, para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-006-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de todas las especies de langosta en las aguas de Jurisdicción Federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California.
- NOM-008-PESC-1993, para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.
- NOM-009-PESC-1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-011-PESC-1993, para regular la aplicación de cuarentenas, a efecto de prevenir la introducción y dispersión de enfermedades certificables y notificables, en la importación de organismos acuáticos vivos en cualesquiera de sus fases de desarrollo, destinados a la acuicultura y ornato en los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-013-PESC-1994, para regular el aprovechamiento de las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.
- NOM-015-PESC-1994, para regular la extracción de las existencias naturales de ostión en los sistemas lagunarios estuarinos del Estado de Tabasco.
- NOM-016-PESC-1994, para regular la pesca de lisa y liseta o lebrancha en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California.
- NOM-017-PESC-1994, para regular las actividades de pesca deportivo- recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- NOM-023-PESC-1996, que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palangreras en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.
- NOM-EM-001-PESC-1999, Que establece los requisitos y medidas para prevenir y controlar la introducción y dispersión de las enfermedades virales denominadas mancha blanca white spot baculo virus (WSBV) y cabeza amarilla yellow head virus (YHV).
- NOM-022-SEMARNAT-2003, que estable las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de humedales costeros en zonas de manglar.

(Continúa)

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

Marco legal estatal

Constituciones Políticas de los Estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche,
Yucatán y Quintana Roo

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Tamaulipas

Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Tabasco

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Campeche

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Yucatán

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo

· Reglamento de Impacto Ambiental

· Reglamentos municipales

Fuente: Zárate *et al.* 1999 y 2001.

ANEXO 2. TRATADOS E INSTRUMENTOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR MÉXICO
RELACIONADOS CON LA ZONA COSTERA Y MARINA

Tratados e instrumentos globales

Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar
Convención sobre Alta Mar
Convención sobre Mar Territorial y la Zona Contigua
Convención sobre la Plataforma Continental
Convenio Internacional sobre Salvamento Marítimo
Convenio Internacional sobre la Búsqueda y Salvamentos Marítimos
Convenio sobre la Responsabilidad Nacida de Reclamaciones de Derecho Marítimo
Convenios Internacionales sobre Contaminación por Hidrocarburos, Vertimiento de Desechos y otras Sustancias Nocivas al Mar
Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Cumbre de la Tierra
Agenda 21. Capítulo 17. Protección de los Océanos y de los Mares de Todo el Mundo, incluidos los Mares Cerrados, Zonas Costeras y Protección Racional y Desarrollo de sus Recursos Vivos.
Código de Conducta para la Pesca Responsable
Convención Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena
Convención sobre Pesca y Conservación de los Recursos Vivos en Alta Mar
Programa Internacional para la Conservación de los Delfines
Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención de RAMSAR)
Convenio Internacional para prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)
Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos
Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias
Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil por Daños Causados por la Contaminación de las Aguas del Mar por Hidrocarburos.
Convenio Internacional relativo a la Intervención en Alta Mar en casos de Accidentes que causen una Contaminación por Hidrocarburos

(Continúa)

ANEXO 2. TRATADOS E INSTRUMENTOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR MÉXICO
RELACIONADOS CON LA ZONA COSTERA Y MARINA

Protocolo relativo a la intervención en Alta Mar en Casos de Contaminación del Mar por Sustancias Distintas de los Hidrocarburos.
Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible Johannesburgo 2002.

Tratados e instrumentos regionales

Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACCAN) y la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. Gobiernos de los Estados Unidos de Mexicanos, de Canadá y los Estados Unidos de América
Convenio Constitutivo de la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA)
Centro para los Servicios de Información y Asesoramiento sobre la Comercialización de los Productos Pesqueros en América Latina y El Caribe (INFOPESCA)
Convenio Constitutivo de la Asociación de Estados del Caribe.
Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe y el Protocolo de Cooperación para combatir los derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe
Plan de Acción del Sistema Arrecifal del Caribe Mesoamericano.

Tratados e instrumentos bilaterales

Acuerdo para el Reconocimiento Provisional de Fronteras Marítimas (USA-MEXICO)
Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre la Contaminación del Medio Marino por Derrames de Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas

BIBLIOGRAFÍA

- Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.) 1996. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- CONABIO 1998. *Regiones marinas prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad., México. 198 pp.
- CONANP 2003. Áreas naturales protegidas en el Golfo de México y Mar Caribe. Documento presentado en el Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. INECOL A. C.-SEMARNAT, marzo 2003.
- Day, J. W., J. F. Martin, L. Cardoch y P. H. Templet 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems in the Gulf of Mexico. *Coastal Management* 25 : 115-153.
- GSTP-SEDUMA 2002. Programa estatal de desarrollo urbano. Grupo de Servicios, Ingeniería y Proyectos S. A. de C. V., Gobierno del Estado de Quintana Roo. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. 718 pp. Tomo I y 2 + anexos.
- INEGI-SEMARNAP 1999. *Estadísticas del medio ambiente*. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México. Vol I y II.
- INE-SEMARNAP 2000. Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera de México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Propuesta (Documento de Trabajo). 40 pp.
- Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman 1999. *The Gulf of Mexico large marine ecosystem. Assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. 704 pp.
- Lara-Domínguez, A. L., A. Yáñez-Arancibia, P. Sánchez-Gil, D. Zárate Lomelí, J. W. Day y E. Reyes 2003. Dynamic estuarine patterns of ecological processes and functional structure in the Gulf of Mexico: application to coastal management. *Ocean & Coastal Management*. Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem, Elsevier.
- Martínez Arroyo, A. y R. Lacy Tamayo 2003. Iniciativa de restauración ecológica y unificación de políticas ambientales en el Golfo de México. Documento presentado en el Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. INECOL A. C.-SEMARNAT, marzo 2003.
- Ortiz Pérez, M. A., C. Valverde y N. P. Pzuty 1996. The impacts of sea-level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast. En: *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica.

- PEMEX 2000. *Anuario estadístico 2000*. Petróleos Mexicanos, México. 63 pp.
- Rivera-Arriaga, E. y D. Zárate Lomelí 2000. Where we are and where we should go in coastal management in Mexico. En: Cicin-Sain, B. y E. Rivera-Arriaga (eds.). *International Conference on Coastal and Ocean Space Utilization. North American and European Perspectives on Ocean and Coastal Policy. Building Partnerships and Expanding the Technological Frontier*. Proceedings Volume 1. 168 pp.
- SEMARNAT, 2001. *Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 170 pp.
- Toledo Ocampo, A. 1996. Caracterización ambiental del Golfo de México. En: Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.) 1996. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- Weber, M., R. T. Townsend y R. Bierce 1992. *Environmental Quality in the Gulf of Mexico a Citizen's Guide*. Center for Marine Conservation and U. S. Environmental Protection Agency. 132 pp.
- Secretaría de Marina. Página en internet: www.semar.gob.mx. 2002.
- Yáñez-Arancibia, A., D. Zárate Lomelí y V. Santiago Fandiño 1996. La evaluación de impacto ambiental en la región del Gran Caribe. En: Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- Yáñez-Arancibia, A. y D. Zárate Lomelí 2001. Conclusiones Primer Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. Instituto de Ecología A. C.-SEMARNAT. 12 pp.
- Yáñez-Arancibia, A. y J. W. Day, 2003. Coastal management in the Gulf of Mexico: towards an integration of ICM with LME management. *Ocean & Coastal Management*. Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Elsevier.
- Zárate, L. D. 2003. Instrumentos para la gestión y el manejo de la zona costera de México. En: Rivera Arriaga, E., G. Villalobos Zapata, F. Rosado May e I. Azuz Adeath (eds.). *El manejo costero en México. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México*. SEMARNAT, México.
- Zárate, L. D., J.L. Rojas Galavíz, T. Saavedra Vázquez 1996. La evaluación del impacto ambiental en México: recomendaciones para zonas costeras. En: Botello, A. V., J.L. Rojas Galavíz, J.A. Benítez, D. Zárate-Lomelí (eds.). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- Zárate, L. D., T. Saavedra Vázquez, J.L. Rojas Galavíz, A. Yáñez-Arancibia, E. Rivera-Arriaga 1999. Terms of reference towards an integrated management policy in the

- coastal zone of the Gulf of Mexico and the Caribbean. *Ocean and Coastal Management*, 42: 345-368.
- Zárate, L. D., y H. Alafita V., 2001. Diagnóstico ambiental de la región SSE de México. Implicaciones del Plan Puebla Panamá. Informe Técnico. Instituto de Ecología A. C. 64 pp.
- Zárate, L. D., A. Yáñez-Arancibia, E. Rivera Arriaga, P. Sánchez Gil, M. Ortiz Pérez, A. Lara Domínguez, L. Hernández Martínez, H. Alafita Vásquez y S. Guevara Sada 2001. Diagnóstico ambiental y necesidades para el manejo integral de la zona costera del Golfo de México y Caribe. Informe Técnico. Primer Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. 21 a 23 de noviembre, Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, México. 69 pp.
- Zárate, L. D. y A. Yáñez-Arancibia, 2003. Conclusiones Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. Instituto de Ecología A. C. -SEMARNAT. 37 pp. + anexos.
- Zárate, L. D., A. Yáñez-Arancibia, R. Lacy Tamayo, A. Martínez Arroyo, H. Alafita Vásquez, E. Rivera Arriaga y J. W. Day, 2003. Términos de referencia para el Programa de Manejo Integral de la zona costera del Golfo de México y Caribe. Informe Técnico. Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe, 6-7 marzo 2003. INECOL A. C. -SEMARNAT. 37 pp.

ENTRE LA CIENCIA Y LA POLÍTICA.
INTEGRANDO LOS COMPONENTES MARINOS, COSTEROS
Y CONTINENTALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Alejandro Toledo

UNA VISIÓN A PARTIR DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL OCÉANO,
LAS COSTAS Y LOS RÍOS

La aventura de la vida en nuestro planeta se inició en el mar. Hasta hace unos 450 millones de años, toda la vida era marina. Millones de años antes, sin embargo, los ecosistemas marinos proveían ya una larga, compleja y variada gama de funciones ambientales que hicieron posible, en el Paleozoico medio, el surgimiento de la vida en ambientes terrestres. Existen evidencias geoquímicas de que hace aproximadamente 2.2 billones de años, el oxígeno de la Tierra alcanzó niveles comparables a los que se encuentran en la atmósfera actual como consecuencia de la oxigenación fotosintética de las algas marinas unicelulares (fitoplancton). Desde entonces, los cambios en la producción primaria oceánica, ligados a cambios en los ciclos bioquímicos globales, han influenciado profundamente a la geoquímica de la Tierra (Falkowski *et al.*1998, Field 1998).

En el océano contemporáneo, la fijación fotosintética del carbono por el fitoplancton marino es el factor decisivo para la formación de aproximadamente 45 gigatonnes de carbono orgánico por año. Estos procesos se encuentran estrechamente ligados con los niveles de carbono atmosférico a través de los intercambios atmósfera-océano, de tal modo que los flujos entre el

océano y la atmósfera influyen y controlan las mezclas en las aguas profundas, en los flujos de nutrientes hacia y dentro del océano, en la estructura de las cadenas alimenticias y, por ende, en la propia ubicación de las regiones pesqueras más importantes para la satisfacción de la demanda de alimentos para la población humana (Fasham *et al.* 2001).

En diferentes escalas de tiempo dos mecanismos influyen en la concentración de CO₂ en sus diferentes reservorios: los patrones de circulación oceánicos y la productividad de la biomasa marina. Estos complejos mecanismos marinos físicos y biológicos son los responsables básicos del mantenimiento de la vida oceánica y de los equilibrios globales que hacen posible la vida en la Tierra. Esto es así porque la tierra, el océano y la atmósfera forman parte de un mismo sistema. Son subsistemas acoplados, que se afectan recíprocamente, de tal modo que los desequilibrios en uno tienen un alto potencial de efectos sobre los otros.

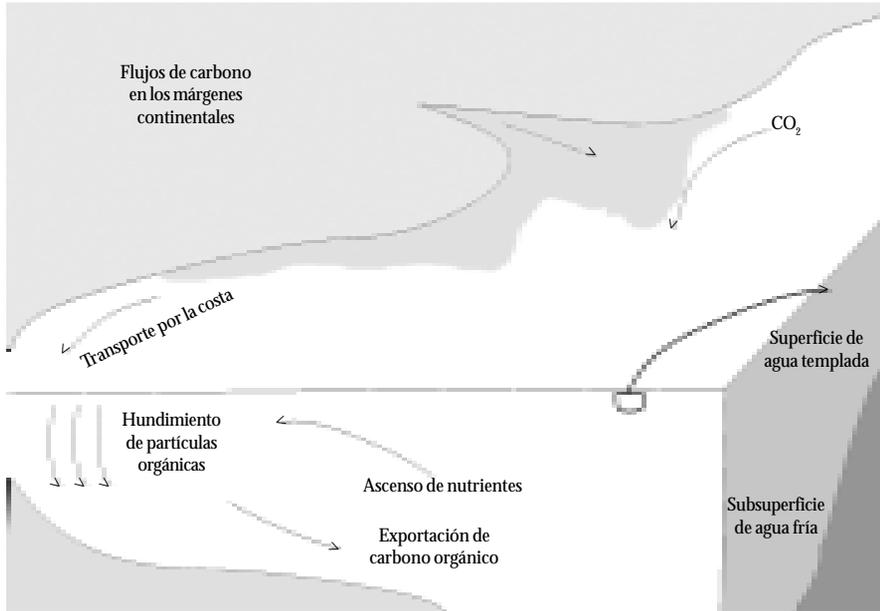
Un amplio número de procesos físicos –corrientes geostróficas, giros ciclónicos y anticiclónicos, surgencias y mareas, corrientes fluviales– controlan el transporte de nutrientes y materiales en el océano desde las aguas superficiales hasta las capas más profundas y los sedimentos del piso oceánico, jugando un papel decisivo en sus ciclajes en formas orgánicas e inorgánicas. Ninguna gota de agua del océano queda al margen de la influencia de estos procesos. Estos mecanismos de transporte y distribución se conocen como “la bomba física” (Vidal *et al.* 1985).

Estrechamente conectado con estos procesos físicos se encuentra “la bomba biológica”, por el cual la vida oceánica controla la concentración atmosférica del bióxido de carbono (CO₂). Hoy se sabe que el nivel de CO₂ en la atmósfera (700 mil millones de toneladas métricas) se mantiene gracias a los intercambios con los grandes reservorios marinos (35 mil billones de toneladas métricas). Con 50 veces más carbono que la atmósfera, el océano contiene el más grande reservorio de carbono activamente circulando en la biosfera (Fasham *et al.* 2001, figura 1).

El hecho es que sin la acción de estas funciones y servicios ecológicos, el nivel del carbono atmosférico liberado por el océano podría incrementarse dramáticamente de dos a tres veces sobre su valor presente. Es sólo la acción de estos grandes procesos físicos y biológicos lo que evita que esto pueda ocurrir (Norse 1993).

Dos factores controlan la productividad marina: la tasa de renovación de nutrientes y los montos de luz disponibles. Puesto que ambos varían marcadamente en el espacio y el tiempo, la productividad primaria del océano está lejos de ser uniforme. Las aguas bien iluminadas en el centro de las cuencas oceánicas generalmente tienen baja productividad primaria por-

FIGURA 1- PROCESOS BIOFÍSICOS GLOBALES Y FLUJOS DE NUTRIENTES EN LA ZONA COSTERA Y LITORAL



Fuente: Fashan *et. al.* 2001

que los materiales ricos en nutrientes se sumergen por debajo de la zona eufótica y sus nutrientes no son reemplazados con rapidez, lo que los vuelve productivamente pobres. Las concentraciones de nutrientes son mucho más altas en las plataformas continentales, donde hay abundantes fuentes de nutrientes y vigorosas mezclas verticales conocidas como surgencias (ver fig. 1).

Estos poderosos mecanismos físicos de fertilización de las aguas marinas que son las surgencias ocurren generalmente cuando los vientos dirigen las aguas superficiales hacia las costas, entonces las aguas frías subsuperficiales ricas en nutrientes reemplazan a las aguas superficiales. Las surgencias retornan nutrientes a la zona fótica cuando éstos son liberados por la descomposición de la materia orgánica hacia las aguas profundas. El resultado es

una alta productividad primaria, cinco a diez veces mayor que la del océano abierto. No solamente la productividad primaria es alta en las zonas de surgencias, sino que por su corta y eficiente cadena de alimentos el rendimiento pesquero es mucho mayor por unidad de producción primaria. Por ello muchas de las mayores pesquerías se localizan en las plataformas continentales o en áreas de surgencias. Aunque estas zonas cubren solamente el 0.1% del océano, contribuyen con una tercera parte de las capturas en el mundo, volviéndolas excepcionalmente importantes para la productividad oceánica. Por ello, las costas y las áreas de surgencias, que constituyen una pequeña fracción del reino marino, son en cambio desproporcionadamente importantes para la población humana y otros animales que requieren de densas concentraciones de peces para alimentarse. Paradójicamente, estas enormes agregaciones de peces en áreas restringidas hacen a la vida marina especialmente vulnerable a la sobreexplotación y a cualquier otra clase de alteración física o química (Norse *op. cit.*).

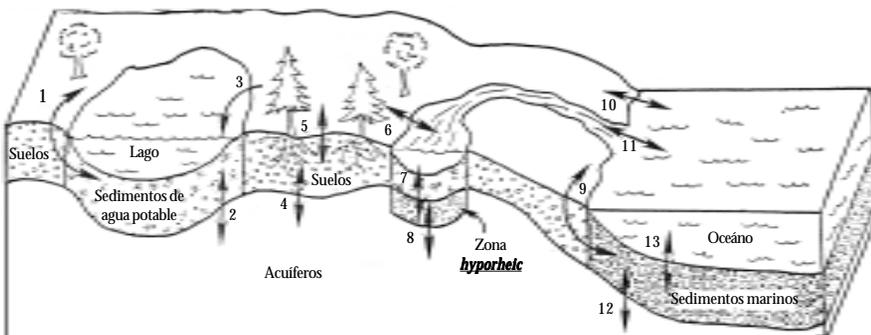
Los ritmos periódicos de inmersión y emersión de las mareas controlan la vida en el litoral marino (Britton y Morton 1989). Las mareas proveen de agua y nutrientes esenciales que hacen posible la rica y variada vida en los estuarios, planicies de inundación y humedales, que son las zonas más productivas de la costa. Junto con los vientos, las olas y las mareas son los mecanismos físicos responsables de la formación de los múltiples habitats costeros. Todos los ritmos de la vida costera están regulados por sus servicios ambientales. Salvo en las zonas de las plataformas de la Florida y Texas-Luisiana, 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. Relativamente tranquilo en relación con otras áreas marinas del continente americano, el Golfo recibe la influencia de mareas cuyas oscilaciones no son mayores de 30 a 60 cm. Este rango relativamente pequeño ejerce, sin embargo, efectos decisivos sobre los ambientes vitales del litoral. A lo largo de la línea costera del Golfo de México existen numerosas bahías, estuarios, humedales y planicies 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 refluo de masas de agua, de nutrientes y materiales desde los humedales y manglares que bordean el litoral hasta las zonas de producción como praderas de pastos marino, arrecifes y otros habitats críticos de la costa y viceversa. Estos movimientos hacen posible la migración de millones de organismos hacia las zonas de alimentación, reproducción, crianza o refugio. Gracias a esta función de las mareas la vida se

mantiene en el complejo organismo que es el Golfo de México.

No obstante que sólo representan el 7% de la superficie terrestre, las costas se encuentran entre los más valiosos y vulnerables hábitats del planeta (Jickells 1998). Sus numerosas funciones y servicios ambientales son insustituibles para la existencia humana. Grandes concentraciones de nutrientes llegan a esta zona de transición entre la tierra y el mar por diferentes vías: desde las zonas continentales, por los ríos; desde los mantos subterráneos continentales, por la incorporación de partículas que fluyen a las zonas de intercambio de masas de aguas saladas y dulces; desde la plataforma continental, por procesos de sedimentación, respiración y denitrificación y desde las aguas oceánicas, a través de las corrientes, mareas y otros fenómenos meteorológicos, como producto de la respiración en los procesos fotosintéticos desencadenados en los mares adyacentes (figura 2).

La zona comprendida entre la plataforma continental oceánica, la costa y la tierra se caracteriza por una alta variedad de gradientes y ecotonos

FIGURA 2. ZONAS DE TRANSICIÓN CRÍTICAS



Fuente: ???

regulados por cuatro tipos básicos de procesos: físicos, biogénicos, climáticos y fisicoquímicos. Los procesos físicos (mareas, olas y surgencias, entre los mayores) establecen ecotonos paralelos a la línea costera. Biogénicamente,

los gradientes se producen por la interacción de organismos vivos con estructuras físicas, formando hábitats marinos, costeros y terrestres característicos, como arrecifes coralinos, pastos marinos, humedales costeros, zonas estuarinas y planicies de inundación. Los gradientes climáticos son responsables de las diferentes respuestas de los organismos a cambios físicos en los ambientes terrestres y marinos de una región hidrológica, cuyas escalas temporales varían de minutos hasta cientos de años, finalmente, los gradientes fisicoquímicos establecen condiciones de oxigenación, salinidad y temperatura, capaces de regular y controlar los desplazamientos espaciales y temporales de los organismos en los distintos hábitats.

Estos gradientes se expresan en complejas jerarquías de ecosistemas, cada uno con asociaciones bióticas características: biomas marinos, biomas litorales, biomas de mareas, biomas de planicies costeras y biomas de montañas. A escala del paisaje hidrológico regional, los ambientes marinos y costeros presentan las mayores diversidades de formas de vida del planeta. Ellos albergan la más alta diversidad de vertebrados de todos los niveles taxonómicos: 3 clases, 50 órdenes, 445 familias y aproximadamente 22,000 especies. Una alta proporción vive en la plataforma continental marina, pero aproximadamente 8,500 especies (el 40%) son de aguas dulces. De las 13,200 especies marinas, casi el 80% son habitantes del litoral costero (Ray 1991).

Existen, pues, interacciones críticas y recíprocas entre los ambientes terrestres, costeros y marinos. La biomasa y los nutrientes (nitrógeno, fósforo, carbono y micronutrientes) derivados del mar son exportados a las aguas dulces y a las áreas continentales y viceversa. Estos subsidios refuerzan la productividad global, estableciendo ligas entre el océano, las aguas dulces de las planicies costeras y las cuencas altas de los ríos, sosteniendo una compleja e intrincada cadena de alimentos que intersecta horizontalmente a la tierra y el mar. Cada año, y en diferentes estaciones, miles de millones de peces migran de las zonas marinas a los estuarios, a las planicies de inundación y a las zonas altas de los ríos y estuarios a desovar, crecer, alimentarse y buscar refugio (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, Yáñez-Arancibia y Day 1988, Polis *et al.* 1995, Polis 1996, Polis *et al.* 1997, Wilson *et al.* 1998).

Las interconexiones entre el océano, la costa y el continente se extienden más allá de los sistemas acuáticos, abarcando la zona poco conocida de los suelos y sedimentos terrestres, dulceacuícolas, costeros y marinos. Recientemente la ciencia ha logrado reunir información para probar que los sedimentos de los lagos, ríos, humedales, estuarios, lagunas costeras, litorales y del piso oceánico integran un continuum de ecosistemas estrechamente

interconectados. Existen conocimientos que nos hacen percibir que las funciones, los servicios y las ligas entre estos habitats son esenciales para el sostenimiento de la vida en la Tierra (Brussard 1997). Una amplia cadena de funciones y servicios hace de los sedimentos un centro crítico y dinámico de procesos ecosistémicos globales como el reciclaje de nutrientes, liberación de nutrientes hacia las plantas y algas, formación y descomposición de materia orgánica, fijación de nitrógeno, producción y consumo de metano, formación y estabilización de suelos, oxigenación de suelos y sedimentos, producción de ácidos orgánicos, descomposición de rocas, transporte y degradación de contaminantes, fuente de alimentos para una enorme cantidad de organismos y provisión de agua limpia. Los suelos y sedimentos oceánicos son los mayores almacenes de carbono en forma de materia orgánica de la Tierra. Los sedimentos de los cuerpos dulceacuícolas filtran el agua y la hacen disponible para los seres humanos, manteniendo los más bajos niveles de carbono en comparación con los ecosistemas litorales y oceánicos a los que se encuentran conectados. Los suelos continentales aeróbicos contienen dos veces más materia orgánica que la que se encuentra en la vegetación terrestre (Wall *et al.* 1997, Wall 1999, Snelgrove 1999, Groffman y Bohlen 1999).

Todos los materiales y minerales que se procesan en el mar proceden originalmente de los continentes (Cifuentes *et al.* 1986). En jornadas de miles de millones de años los ríos han prestado servicios ambientales vitales a la Tierra transportando hacia el océano los productos de la erosión (sedimentos, minerales y nutrientes) causada por los diluvios y las lluvias torrenciales que se han precipitado a lo largo de las épocas geológicas (Jonson *et al.* 1995). Hoy se estima que la lluvia y los ríos aportan al océano unos 80 millones de toneladas de nitrógeno orgánico en forma de amoníaco y nitrato, aunque presumiblemente sólo 10 millones llegan hasta el fondo del mar en forma de nitrógeno orgánico y poco se sabe acerca de las rutas y los paraderos de los volúmenes restantes.

Estas estrechas relaciones entre las funciones y los servicios ecológicos del mar y la vida en la Tierra se han acentuado en el transcurrir del tiempo geológico y biológico; y han terminado por transformarse en una dependencia crítica en el tiempo histórico humano.

Hoy nos resulta muy claro que la población humana necesita en un alto grado de los productos marinos para satisfacer sus requerimientos básicos de alimentación. El 16% de todas las proteínas animales consumidas por la población humana provienen del océano. El valor total de las pesquerías del mundo se estima en 80 mil millones de dólares al año. Estas actividades

vinculadas con la explotación de los recursos marinos proporcionan empleos directos a una población estimada entre 15 y 20 millones de pescadores que en 90% son ribereños, a los que hay que agregar unos 180 millones de empleos indirectos generados por la actividad pesquera (FAO 1997, USA 1998), y otro porcentaje considerable de los productos del mar que se utiliza para la elaboración de fertilizantes agrícolas, alimentos para la ganadería y con propósitos medicinales, que representan fuentes de empleo e ingresos adicionales para la población humana.

Lo que resulta menos evidente es la dependencia de la población humana de una compleja red de servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas oceánicos, costeros y fluviales. Sin embargo, cada vez en mayor medida, la humanidad necesita para sobrevivir de estos servicios ecológicos. Es hasta hace poco que se ha llamado la atención sobre estos valores indirectos poniendo el acento en la estimación de su valor económico (al parecer la única manera de llamar la atención de los dirigentes y planificadores de un sistema de producción y de vida basado en las valoraciones del mercado), situándolos en 5.2 billones de dólares anuales para los del océano abierto y en 11.7 trillones de dólares para los servicios proporcionados por los ecosistemas costeros (Costanza *et al.* 1997).

En nuestros días ya no podemos pensar en los problemas ecológicos del océano, las costas y las cuencas fluviales terrestres como cuestiones separadas, por más que una tradición académica basada en las disciplinas nos hayan educado en esta creencia. La mayoría (si no es que todas) las perturbaciones de los ecosistemas marinos, aun las del mar profundo, tienen su origen a miles de km en las cuencas altas, donde la destrucción de bosques y otros cambios en los usos del suelo desencadenan procesos que repercuten en la calidad de los flujos que se descargan al mar (Swanson *et al.* 1998). Es un grave error, entonces, pensar en planes de manejo de ambientes costeros o marinos sin tomar en cuenta las estrategias que se utilizan tierra adentro.

Por ello una estrategia orientada al uso sostenible de los mares patrimoniales de México debe basarse en el conocimiento y la protección de sus grandes servicios ambientales y en la consideración del papel que juegan estos servicios en el mantenimiento del capital ecológico del país.

EL GOLFO DE MÉXICO: UN ECOSISTEMA ALTAMENTE INTEGRADO, FRÁGIL Y VULNERABLE

El Golfo de México es de los sistemas ambientales más diversos y ricos de la

Tierra. Por sus dimensiones y características de cuenca semicerrada es el gran mar interior del Atlántico tropical. En una cuenca de tan sólo 1.6×10^6 km², que almacena cerca de 2.3×10^6 km³ de agua, se suceden una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que hacen del Golfo un sistema altamente acoplado de ecosistemas marinos, costeros y continentales. Tales procesos y la naturaleza de sus interconexiones hacen del Golfo un enorme almacén de energía del sistema tierra- atmósfera- océano. Esta gigantesca bomba física es accionada por un complejo mecanismo constituido por grandes corrientes marinas y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos, surgencias, tormentas tropicales, mareas y flujos continentales. La acción de estos procesos hidrodinámicos lo dotan de una variada gama de ecosistemas marinos, costeros y fluviales. En pocos lugares de la Tierra se puede encontrar la gran diversidad de ecosistemas templados, subtropicales y tropicales que caracterizan al Golfo de México.

La gran Corriente del Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos asociados constituyen los mecanismos primarios que movilizan y distribuyen las masas de agua en el Golfo. Estos enormes flujos – cientos de veces mayores que los de las descargas fluviales continentales – juegan un papel decisivo en la circulación y en la renovación de sus masas de agua, en sus balances térmicos y salinos, en su climatología, en la dinámica de sus procesos costeros y en los equilibrios de los sistemas marinos y continentales (Monreal y Salas 1997, De la Lanza 1991).

La Corriente del Lazo transporta aguas caribeñas, nutrientes y organismos, hacia el Golfo Oriental a través de los estrechos de Yucatán y de la Florida, en volúmenes estimados entre $29-33 \times 10^6$ m³ s⁻¹, en tanto que los anillos que se desprenden de esta gigantesca corriente movilizan hacia el interior de la cuenca (norte, occidente y sur) volúmenes estimados entre $8-10 \times 10^6$ m³ s⁻¹. Esta gigantesca bomba física determina no sólo la productividad local, sino que también influye sobre la estirpe y la diversidad de especies de toda la cuenca del Golfo. La alta diversidad de especies en los sedimentos marinos profundos del Golfo se encuentra estrechamente asociada a estos procesos hidrodinámicos (Flores Coto *et al.* cit. por Arriaga *et al.* 1998).

La influencia de esta bomba física determina un gradiente de productividad y biodiversidad altamente correlacionada con las descargas de los ríos (Lara-Domínguez *et al.* 2002). Sin embargo, los mecanismos con los que opera la bomba biológica en las regiones de alta productividad son todavía muy deficientemente conocidos. Se sabe que al menos una parte de las aguas oceánicas del Golfo de México son áreas oligotróficas y biológicamente pobres. Las cuantificaciones de clorofila, nitratos, fosfatos y productividad

primaria en los centros de la Corriente del Lazo y sus anillos (más del 50% del área total del Golfo, durante más de 6 meses del año), parecen confirmar 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 $0.4 \text{ mg Cm}^{-3} \text{ h}^{-1}$. 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 una situación relativamente pobre (Biggs 1992).

En otras regiones, como las plumas de los ríos Misisipi y Grijalva-Usumacinta, en la Plataforma de Luisiana-Texas y en la Plataforma de Yucatán, así como en las fronteras de la Corriente del Lazo y de sus anillos, se presentan elevadas concentraciones de nutrientes y la biomasa fitoplanctónica es muy alta. Por ejemplo, en las costas de Luisiana-Texas y en las del sureste de México, se han reportado productividades primarias de $250\text{-}500 \text{ mg Cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$. En estas zonas se producen fenómenos de surgencias y cascadas (Bogdanov *et al.* 1968).

La distribución de larvas de algunas de las pesquerías más importantes del Golfo han sido asociadas con los bordes de la Corriente del Lazo. Las fronteras de esta Corriente son zonas altamente dinámicas, con meandros y fuertes convergencias y divergencias, capaces de concentrar grandes volúmenes de organismos planctónicos, incluyendo huevecillos y larvas. En estas áreas, (Richards *et al.* 1989) 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 $458 \text{ ml} \times 1,000 \text{ m}^{-3}$.

Geohidrológicamente, el Golfo de México es una provincia distributiva integrada por un área sedimentaria del orden de $5.4 \times 10^6 \text{ km}^2$ y por 159,890 km de ríos entre los que sobresalen dos de los mayores hidrosistemas de Norteamérica: el sistema Misisipi-Atchafalaya, en los Estados Unidos de América; y el Grijalva Usumacinta, en México. El 36% del área total de la provincia es agua y el 64% restante son formaciones continentales. En total, 38 grandes ríos descargan un volumen global de alrededor de $1,110 \times 10^9 \text{ m}^3$ año de aguas dulces al Golfo, acarrear 775 millones de toneladas de detritos y alrededor de 208 millones de toneladas de materiales disueltos (Moody 1967).

Del total de aguas dulces descargadas al Golfo por sus ríos, $866 \times 10^9 \text{ m}^3$ año, corresponden a las cuencas estadounidenses (con excepción del río Bravo), $229 \times 10^9 \text{ m}^3$ año provienen de los ríos mexicanos y $12 \times 10^9 \text{ m}^3$ año corresponden a las descargas estimadas del río Bravo. El Misisipi y el

Atchafalaya contribuyen con el 55% del total. El Grijalva-Usumacinta contribuye solamente con el 10%. El río Bravo cubre una cuenca de drenaje de 472,000 km², la segunda más grande del Golfo. A pesar de la amplitud de esta área de drenaje, el río Bravo tiene una de las más pequeñas tasas de descarga de flujos al Golfo, aproximadamente $0.03 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Solís y Powell 1999).

La modificación de los patrones naturales de drenaje de los ríos por las actividades humanas ha alterado dramáticamente los flujos de agua dulce, sedimentos y nutrientes que se exportan hacia el Golfo, privando a este sistema de uno de sus mayores servicios ecológicos. Los cambios en la cantidad, los períodos de descarga y la calidad de los flujos de aguas dulces hacia el Golfo de México han sido drásticos en los últimos años. Las presas en las cuencas altas, obras de canalización y desviación de cauces, construcción de carreteras y otras vías de comunicación, ocupación de pantanos por asentamientos humanos y por el reclamo de tierras para usos agrícolas y urbanos, han alterado profundamente los patrones de circulación del agua.

El represamiento de los mayores sistemas fluviales en la región del Golfo de México ha sido un evento cataclísmico en la vida de estos hidrosistemas (Gup cit. por Ligon *et al.* 1995). Para estos dinámicos ambientes, la interrupción de sus flujos naturales ha significado la eliminación de algunas de sus más vitales funciones y servicios. El hecho es que el hábitat físico es críticamente importante para estos hidrosistemas y puede cambiar más fácil y rápidamente que en otros ecosistemas. Cuando se construye una presa, se presenta de inmediato una alteración de los flujos de agua, sedimentos y nutrientes, lo que propicia cambios en las estructuras físicas, hidráulicas y biológicas de toda la región hidrológica a la que el río pertenece. Visibles o no, estos cambios son generalmente dramáticos y desastrosos.

Pero prácticamente cualquier actividad humana (los asentamientos humanos, las obras portuarias, la construcción de vías de comunicación, la ocupación de bosques por las actividades agrícolas, especialmente en zonas de laderas) en las cuencas hidrológicas que vierten sus aguas al mar, exponen el suelo a la erosión e incrementan dramáticamente el acarreo de sedimentos y contaminantes de la tierra a las corrientes fluviales y finalmente hacia el mar. Así los ecosistemas marinos se encuentran hoy amenazados por los usos del suelo que se llevan a cabo a cientos y hasta miles de kilómetros en las cuencas altas (Clark 1996, Escobar 2002).

Los sedimentos suspendidos, especialmente las partículas finas, impiden la respiración de organismos, obstruyen los órganos alimenticios de la fau-

na litoral y marina y reducen la disponibilidad de la luz para la fotosíntesis. A menudo estas descargas cubren las áreas donde se lleva a cabo la fotosíntesis, sepultan los organismos bénticos y vuelven al sustrato rocoso y coralino imposible para la colonización. La deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas y la erosión resultante han degradado estuarios, bancos de pastos marinos y arrecifes coralinos en diferentes regiones del Golfo de México (Zárate-Lomelí *et al.* 1999).

Los casos de los sistemas Misisipi-Atchafalaya y del Grijalva-Usumacinta son ejemplos típicos de esta situación (Reyes *et al.* 2002).

El río Misisipi se encuentra entre los diez mayores ríos del mundo en términos de su capacidad de descarga de aguas dulces y sedimentos continentales (Millman y Meade 1983). Es, de lejos, la fuente dominante de flujos de sedimentos, nutrientes y contaminantes al Golfo de México: el Misisipi descarga sus aguas hacia los humedales costeros adyacentes y hacia el océano, donde forma un enorme estuario extendido y una pluma que penetra en una amplia extensión del océano abierto. Estos flujos contribuyen al sostimiento de las mayores y más productivas pesquerías estadounidenses ((Pennock *et al.* 1999).

Los flujos del sistema Misisipi-Atchafalaya hacia el Golfo, estimados en 577 km³ año, han cambiado sus rutas de un modo significativo en la última centuria. Históricamente estos flujos se incorporaban al Golfo a través de dos vías: el agua pasaba por un complejo sistema de bahías y una amplia planicie costera y por el canal principal del río Misisipi. Hoy, debido a las obras de nivelación y canalización en la corriente principal y en su planicie de inundación adyacente, el 65% de los flujos se realizan de un modo directo hacia la plataforma continental. Lo que ha cambiado drásticamente la manera en que los nutrientes y sedimentos se incorporaban a los distintos hábitats costeros y marinos (Turner y Rabalais 1996 y 2003).

Las concentraciones de nitrato-nitrógeno en los flujos del río Misisipi se incrementaron dramáticamente a lo largo del siglo XX y especialmente a partir de la década de 1950, conforme se intensificaron las actividades agrícolas en el Alto Misisipi y se incrementaron las descargas urbanas a lo largo del río (Turner y Rabalais 1991, Bianchi *et al.* 1999). En la última centuria se han cuadruplicado las concentraciones de nitratos descargados por el río al Golfo. Estos incrementos en las descargas de nutrientes han degradado la calidad del agua y propiciado el crecimiento del fitoplancton y de macroalgas, incluyendo algunas especies anóxicas y tóxicas. Esto ha provocado incrementos en la turbidez de las aguas, el agotamiento del oxígeno de las aguas costeras, la

pérdida de hábitats, la alteración de la estructura y funcionamiento de ecosistemas de la plataforma continental adyacente y el decrecimiento de la biodiversidad marina. Los cambios en los niveles de nitrógeno y fósforo han exacerbado la eutrofización de las aguas costeras, favorecido la proliferación de algas tóxicas (mareas rojas, verdes y cafés), agravado los niveles de oxígeno hasta la hipoxia y la anoxia y alterado la estructura de las redes alimenticias marinas (Rabalais *et al.* 2002, Turner y Rabalais 2003).

La eutrofización de las aguas costeras es uno de los mayores problemas globales que afectan hoy a las aguas de grandes regiones del Golfo de México y cuyas causas directas son los intensos usos agropecuarios de las cuencas vertientes, el incremento de los centros urbanos y portuarios en áreas críticas de los estuarios y lagunas costeras. Las actividades humanas han alterado los ciclos globales del nitrógeno y del fósforo y han incrementado la disponibilidad de estos dos nutrientes en los ecosistemas marinos (Mitsch *et al.* 2001, Rabalais *et al.* 2002, Peierls *et al.* 1991)

En el caso del Grijalva-Usumacinta, aunque menos estudiado que el Misisipi, las alteraciones también han sido drásticas a partir de los intensos procesos de deforestación de sus cuencas altas, del sistema de presas construidos sobre el río Grijalva (las mayores de México), de la ocupación de sus planicies de inundación por actividades ligadas a la agricultura comercial de plantación y la ganadería de bovinos, del explosivo crecimiento de la población asentada en sus planicies y la ocupación humana de sus pantanos, estuarios y lagunas costeras y de los intensos desarrollos portuario-industriales vinculados con sus actividades petroleras. Por sus características geomorfológicas y climáticas, se trata de un hidrosistema integrado por ríos rápidos y dinámicos.

El Grijalva-Usumacinta posee un enorme valor ecológico en términos de sus servicios ambientales: destaca entre éstos su altísimo potencial de acarreo de sedimentos y nutrientes hacia las zonas bajas, costeras y marinas. Este poderoso dinamismo originado por la cercanía de los sistemas montañosos que atraviesan por el oriente al territorio mexicano y se unen a las cordilleras centroamericanas, y por la magnitud de la precipitación pluvial (una de las más altas en el mundo: su media anual es de 2,143 mm, dos veces el promedio nacional; en la Sierra de Chiapas y en la de la Lacandonia, las precipitaciones sobrepasan los 4,000 mm y llegan en algunas partes hasta los 5,000 mm), lo dotan de una alta capacidad para la formación de planicies aluviales. Comparativamente, esta capacidad de formación de planicies es seis veces mayor que la del sistema del Misisipi y diez veces más alta que la

del río Bravo (Moody 1967).

Existe una íntima, delicada y compleja conexión entre sistemas acuáticos continentales, costeros y marinos. Los flujos continentales enriquecen con sedimentos y nutrientes los pisos de la Sonda de Campeche. Esta descargas del sistema Grijalva-Usumacinta y las grandes lagunas costeras y humedales adyacentes, convierten al área en un habitat ideal de especies demersales y de una rica y variada fauna litoral. Los análisis en períodos largos de las pesquerías en el sur del Golfo de México y en la Sonda de Campeche realizados por Soberón-Chávez y Yáñez-Arancibia (1985), cuantifican y demuestran la alta correlación entre las capturas y las descargas fluviales ($r = 0.758$, para Tabasco; $r = 0.932$, para Campeche y $r = 0.922$, para Tabasco + Campeche). Las correlaciones entre capturas y extensión de las lagunas costeras y vegetación costera resultaron igualmente estrechas.

Las actividades humanas emprendidas en las últimas décadas han afectado el patrón natural de flujos del sistema Grijalva-Usumacinta y sus mecanismos de transferencias energéticas y de materiales. Las presas construidas con propósitos múltiples como controlar inundaciones en las cuencas bajas, y generar energía (en las cuencas altas) interfirieron con su potencial de acarreo de sedimentos, afectando su capacidad de formación de suelos y obstruyendo sus funciones y servicios ecológicos críticos de transportación de nutrientes y minerales hacia las planicies de inundación, las costas y la Sonda de Campeche. Los niveles de sólidos en suspensión descendieron dramáticamente a partir de 1974 (Casco Montoya 1979). Estos desequilibrios se reflejaron con el tiempo en los balances de la zona fluvio-marina y en la estabilidad del frente costero. La dinámica acción de las corrientes litorales y las tormentas tropicales prevalecieron sobre las acciones compensadoras de las descargas fluviales. Playas y barreras arenosas han sufrido intensos procesos erosivos y se encuentran en franco estado de regresión, afectando a pesquerías litorales, como las del ostión de las lagunas costeras tabasqueñas, en otros tiempos poseedoras de los bancos naturales más importantes de esta región del Golfo de México (Ortiz-Pérez 1988).

Entre sus patrimonios naturales, el Golfo de México cuenta con uno de los más ricos, extensos y productivos ecosistemas, no sólo del Hemisferio Occidental, sino de toda la Tierra: sus humedales costeros. Aún hoy, después de pérdidas significativas de este irremplazable patrimonio ecológico, más de 14,000 km² bordean los estuarios y lagunas costeras del Golfo. De este total, aproximadamente 476,841 ha son bosques de manglar y 974,500 ha son marismas herbáceas. La Península de la Florida es dominada por

unas 219,610 ha de manglar. Virtualmente todo el litoral costero mexicano se encuentra ocupado por humedales, especialmente la región de la Laguna de Términos, que contiene una extensión de bosques de manglar mayor que todas las que poseen las costas estadounidenses del Golfo de México (unas 250 mil ha) (Bianchi *et al.* 1999).

El Golfo de México es también una de las zonas estuarinas más importantes de la Tierra. Más del 50% de los litorales del Golfo están constituidos por estuarios. A su número y a sus notables extensiones se agregan el variado rango de sus características climáticas (de tropicales a templadas y de húmedas a áridas) y la alta complejidad que presentan sus interconexiones marinas y fluviales (Contreras 1988, Deegan *et al.* 1986).

La bomba física que moviliza el potencial energético del Golfo de México –corrientes marinas, fuerzas hidrológicas continentales, la acción de los vientos y las mareas– es la reponsable directa e indirecta de las propiedades que hacen de los estuarios las áreas biológicamente más productivas, los sistemas más importantes de soporte de las pesquerías y las más grandes zonas de refugio de la fauna silvestre del litoral costero del Golfo de México. 39 grandes zonas estuarinas bordean desde la Florida a Yucatán el litoral costero del Golfo.

Su alta diversidad de factores ambientales, hábitats, conexiones internas e interacciones con los ambientes adyacentes (ríos, planicies de inundación y plataforma continental), dotan a estos ecosistemas de una elevada riqueza biótica. La productividad primaria neta de los ecosistemas lagunares-estuarinos se ha estimado entre 500 y 4,000 g peso seco/m²/año (Yañez-Arancibia 1986).

Se estima en más 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 Kobelkowski-Díaz 1991).

Las funciones, los procesos y los servicios ambientales proporcionados por estos ecosistemas han sido profundamente afectados por las actividades humanas. En el Golfo Oriental, los desarrollos urbanos y la conversión de los humedales a los usos residenciales y recreativos han alterado la cantidad y la calidad de agua descargada a los estuarios especialmente en la costa oeste de la Florida. En el Golfo Norte se ha incrementado la erosión y la contaminación química de los estuarios y zonas cada vez más amplias del mar abierto sufren fenómenos de anoxia e hipoxia, causando grandes mortandades de peces de

alto valor alimenticio, especialmente en las áreas de influencia del río Misisipi. En el Golfo Noroccidental, hacia el sur de Texas, los ríos han sido regulados, y la pérdida de aportaciones de aguas dulces al Golfo se ha reflejado en la alteración de las cadenas de alimentos y en la producción pesquera. En el Golfo Sudoriental, especialmente en los extensos y ricos ecosistemas marinos, costeros y continentales de la región del Grijalva-Usumacinta, estos habitats han sufrido los efectos de tres actividades humanas: los usos hidroeléctricos y agropecuarios de las cuencas, la ocupación de humedales y la explotación petrolera en las cuencas y costafuera.

Los cuatro mayores sistemas fluviales que descargan al Golfo de México (los ríos Pánuco, Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta) muestran severos deterioros de sus funciones y servicios ambientales. Los desarrollos portuario-industriales en la cuenca baja del Pánuco han producido serios problemas de contaminación de suelos, aguas superficiales, subterráneas y sedimentos en sus planicies, estuarios y lagunas costeras. En la cuenca baja del Papaloapan se han detectado concentraciones de plaguicidas, como el DDT, en sedimentos en niveles de 60.7 ppb, considerados los más altos registrados en el país; en peces (2,477.6 ppm: *Oreochromis niloticus*) y en crustáceos (1,383 ppm: *Penaeus* sp.). En la cuenca del río Coatzacoalcos se han registrado niveles de hidrocarburos 680 ppm, diez veces superiores a las normas de la UNESCO para aguas no contaminadas (70 ppm). Altos niveles de hidrocarburos también se han detectado en los sedimentos de la laguna de Mecoacán, en Tabasco, con registros de 88 ppm; y en laguna de Términos, en Campeche, con concentraciones de 85 ppm. Los niveles de hidrocarburos detectados en las aguas superficiales de la Sonda de Campeche, (48 ppb), son los más altos del Golfo de México (Botello *et al.* 1996)

POR UNA POLÍTICA CIENTÍFICA ORIENTADA AL USO SOSTENIBLE DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Hoy las actividades humanas tienen la capacidad de producir en forma simultánea cambios globales, regionales y locales. La sustentabilidad ambiental del Golfo de México se encuentra seriamente amenazada por estos cambios.

Los problemas ambientales a nivel global, regional y local afectan en la actualidad funciones y servicios ambientales críticos del Golfo de México, poniendo en peligro sus contribuciones a la sustentabilidad de la biosfera y la población humana que depende directamente de sus recursos. Sus soluciones requieren de nuevas estrategias en la generación y aplicación de los conocimien-

tos en distintos campos de las ciencias marinas, costeras y terrestres. Estas estrategias están íntimamente conectadas con los servicios globales del Golfo, el mantenimiento de su biodiversidad y el manejo sostenible de sus servicios ambientales. Estos tres campos requieren de conocimientos generados a partir de ejercicios interdisciplinarios y transdisciplinarios que comprendan tres escalas diferentes en el espacio y en el tiempo: local, regional y global.

Una nueva visión sobre el Golfo, concibiéndolo como un gran organismo con ecosistemas marinos, costeros y terrestres altamente acoplados, tiene que partir de la capacidad de la comunidad científica para integrar, sintetizar y hacer disponible la información sobre los procesos globales y los que ocurren especialmente en las interfases entre la tierra, la costa y el mar. Una información de síntesis es crucial para entender la conectividad entre estas grandes unidades ambientales críticas. El establecimiento de una nueva conexión entre las disciplinas volverá al conocimiento ecológico más accesible a los grandes sectores de la población, a los planificadores de la política científica y tecnológica y a los tomadores de decisiones.

Una estrategia basada en el conocimiento de las interconexiones entre las cuencas hidrológicas, la costa y el mar, para el Golfo de México se apoya en dos cuestiones fundamentales: su elevada contribución al conocimiento básico de las funciones y los procesos que determinan y controlan su productividad y hacen posible sus servicios ambientales, y su alto valor estratégico para el manejo sustentable de una de las regiones más ricas de la biosfera.

Ligar nuestros conocimientos en los tres dominios – tierra, costa y mar – poniendo énfasis en sus funciones, procesos, servicios ambientales y sus interconexiones, requiere de cambios en nuestras actuales estructuras científicas, hoy orientadas hacia las disciplinas y hacia los conocimientos parciales. Se trata de mejorar nuestras capacidades para responder a cuestiones críticas, tales como: ¿Qué procesos gobiernan los servicios ambientales del Golfo y de qué naturaleza son estos servicios? ¿Cómo responden estos servicios a las tensiones derivadas de las actividades antropogénicas? Investigaciones inter y transdisciplinarias serán necesarias en una variedad de escalas temporales y espaciales, a fin de generar nuevos métodos capaces de integrar la ecología, la economía, otras ciencias sociales y técnicas que permitan conservar con el mínimo de intervenciones sistemas ecológicos autosuficientes, restaurar ecosistemas cuyos servicios ambientales sean esenciales para el funcionamiento de la biosfera y aprovechar de un modo sostenible los múltiples servicios brindados por estos ecosistemas. Estas tareas sólo podrán ser exitosas si son organizadas de un modo coherente y si obedecen

a una política científica y tecnológica con objetivos claros de corto, mediano y largo plazos. Una política de esta clase nos permitirá encontrar respuestas adecuadas a cuestiones cruciales como las siguientes:

- ¿Cuáles son las interrelaciones entre patrones de usos del suelo y la calidad del agua, a nivel local, regional y global, en la cuenca del Golfo de México?
- ¿Cuáles son los efectos de la fragmentación de los paisajes del Golfo (marinos, costeros y terrestres), sobre la diversidad biológica local, regional y global?
- ¿Cómo afectan hoy y cómo lo harán en el futuro, los cambios en el tamaño y la ubicación de las poblaciones humanas a los servicios ambientales del Golfo?
- ¿Cuáles son las consecuencias a largo plazo sobre los servicios ambientales del Golfo de las políticas de utilización intensiva de sus recursos naturales, incluidos los de sus diferentes ambientes: terrestres, costeros y marinos?
- ¿Qué clase de políticas científicas y tecnológicas nos permitirán contar en un tiempo relativamente breve con un conjunto básico de indicadores del estado de los servicios ambientales del Golfo y de sus respuestas al estrés antropogénico?

Tales respuestas darían un mínimo de claridad y coherencia a las acciones de manejo y usos sostenibles de los ecosistemas marinos, costeros y terrestres de la región del Golfo de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, C. L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez, E. Muñoz y V. Aguilar 1998. *Regiones prioritarias marinas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, México. 198 pp.
- Bianchi, T.S., J.R. Pennock y R.R. Twilley. 1999. Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries: Implications for Management. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. Pp.: 407-421.
- Biggs, D.C. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warmcore ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97(2): 2143-2154.
- Botello, A., V; J. L. Rojas-Galaviz; J. A. Benitez y D. Zárate (eds) 1996. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Serie Científica.

- Epomex*, Universidad Autónoma de Campeche. 666p.
- Bogdanov, D.V.; V.A.Sokolov y N.S. Khromov 1968. Regions of high biological and commercial productivity in the Gulf of Mexico. Academy of Sciences of the URSS. Scripta Technica Inc. for the American Geophysical Union. *Oceanology* 8(3):371-381.
- Britton J.C. y B. Morton. 1989. *Shore Ecology of Gulf of Mexico*. University of Texas Press, EE.UU. 387p.
- Brussard, L. 1997. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio* 26(8): 563-569.
- Casco, M. R. 1979. *El manejo del agua en un ecosistema tropical: el caso de la Chontalpa*. Centro de Ecodesarrollo, México. 69 pp.
- Cifuentes, J.L., P. Torres-García y M.Frías 1993. *El océano y sus recursos*. Vol. II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Serie: La ciencia desde México/12. SEP-FCE-CONACYT. México. 170 pp.
- Clark J.R. 1996. *Coastal Zone Management Handbook*. Lewis Publisher. Boca Raton, Florida, EE.UU. 694 pp.
- Contreras, F. 1988. *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo-Secretaría de Pesca. 263 pp.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R.V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton y M. Van den Belt 1997. The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Deegan, L.A., J.W. Day Jr., J.G. Gosselink, A. Yáñez-Arancibia, G.S. Chávez y P. Sánchez-Gil 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries. En: D.A. Wolfe (ed.). *Estuarine variability*. Academic Press, EE.UU.
- De la Lanza, G. (comp.) 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor, S.A. México.
- Escobar, J. 2002. *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL-ECLAC. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. 50. Santiago de Chile. Chile. 67 pp.
- Falkowski, P.G. R.T. Barber y V. Smetacek 1998. Biogeochemical Controls and Feedbacks on Ocean Primary Production. *Science*. A special issue devoted to Chemistry and Biology of the Oceans. Vol. 281: 201-206.
- FAO. 1997. FAO Marine Resources Service, Fishery Resource Division. Review of the state of world fishery resources: marine fisheries. FAO. Fisheries Circular. No. 920. FAO, Roma.
- Fasham, M.J.R., B.M. Baliño y M.C. Bowles (eds.) 2001. A New Vision of Ocean Biogeochemistry After a Decade of the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS).

- Ambio*. Special Report 10: 4-27.
- Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J.M. Randerson y P. Falkowski 1998. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*. A special issue devote to Chemistry and Biology of the Oceans. Vol. 281: 237-240.
- Groffman, P.M y P.J. Bohlen 1999. Soil and Sediment Biodiversity. Cross-system comparisons and large-scale effects. *BioScience*. Vol. 49, No.2:139-148.
- Jickells, R. 1998. Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone. *Science*. A special issue devote to Chemistry and Biology of the Oceans. Vol. 281:217-222.
- Johnson, B.L., W.B. Richardson y T.J. Naimo 1995. Past, Present, and Future Concepts in Larger River Ecology. How rivers function and how human activities influence river processes. *BioScience* 45(3):134-141.
- Jordan, T.E. y D.E. Weller 1996. Human contributions to terrestrial nitrogen flux. *BioScience* 46: 655-664.
- Lara-Domínguez, A.L., A. Yáñez-Arancibia, P. Sánchez-Gil, D. Zárate-Lomelí, J.W. Day y E. Reyes 2002. Dynamic estuarine patterns of ecological processes and functional structure in the Gulf of México: Applications to coastal management. Joint ECSA-ERF Symposium at the University of Sonora. 28 de abril a 2 de mayo de 2003. San Carlos, Sonora, México.
- Ligon, F.K., W.E. Dietrich y W.J. Trush 1995. Downstream Ecological Effects of Dams. A geomorphic perspective. *BioScience* 45(3): 183-192.
- Millman, J.D. y R.H. Meade 1983. World-wide delivery of river sediment of the oceans. *J. Geo.* 91: 1-21.
- Mitsch, W.J., J.W. Day Jr., J.W. Gilliam, P.M. Groffman, D.L. Hey, G.W. Randall y N. Wang 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin: Strategies to counter a persistent ecological problem. *BioScience* 51: 373-388.
- Monreal G., A. y D.A. Salas 1997. *Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana.
- Moody, C.L. 1967. Gulf of Mexico distributive province. *Am. Assoc. Pet. Geo. Bull.* 51: 179-199.
- Nixon, S.W. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41:199-219.
- Norse, E.A. 1993. Global Marine Biological Diversity. A Strategy for Building Conservation into Decision Making. Center for Marine Conservation. World Conservation Union (IUCN). World Wildlife Fund. United Nations Environment Programme. World Banc. Island Press, Washington, DC. 382 pp.
- Ortiz-Pérez, M.A. Evidencias de cambios geomorfológicos del sistema litoral mediante análisis de imágenes aéreas. En: *Ecología y conservación del delta del río Usumacinta*

- y Grijalva. INIREB-Tabasco-Gob. del Edo. de Tabasco. México.
- Peierls B., N. Carasco, M. Pace y J. Cole 1991. Humane influence on river nitrogen. *Nature* 350: 386-387.
- Pennock, J.R., J.N. Boyer, J.A. Herrera-Silveira, R. L. Iverson, T.E. Whitedge, B. Mortazavi y F.A. Comin. Nutrient Behavior and Phytoplankton Production in Gulf of Mexico Estuaries. En: T.S. Blanchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc.
- Polis, G.A. 1996. Linking marine and terrestrial food webs: Allochthonous input from the ocean supports high secondary productivity on small islands and coastal land communities. *American Naturalist* 147: 396-423.
- Polis, G. A., R.D. Holt, B.A. Menge y K.O. Winemiller 1995. Time, space, and life history: Influences on food webs. En: Polis, G.A and K.O. Minemiller (eds.). *Food Webs: Integration of Patterns and Dynamics*. New York: Chapman & Hall. EE.UU.
- Polis, G.A. W.B. Anderson y R.D. Holt 1997. Towards an integration of landscape and food web ecology: The dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 289-316.
- Rabalais, N., R.E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, W.J. Wiseman, Jr. y B.K. Sen Gupta 1996. Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 19: 386-407.
- Rabalais, N., R.E. Turner y D. Scavia 2002. Beyond Science in Policy: Gulf of Mexico Hypoxia and the Mississippi River. *BioScience* 52(2): 129-142.
- Ray, C.G. 1991. Coastal-Zone Biodiversity Patterns. *Bioscience* 41(7): 490-498.
- Reséndez-Medina, A. y A. Kobelkowsky-Díaz. Ictiofauna de los sistemas lagunares costeros del Golfo de México. *Universidad y Ciencia* 6 (15): 91-110.
- Reyes, E., J.W. Day, J.F. Martin, P. Kemp, A.L. Lara-Domínguez, D. Zárate-Lomelí, A. Yáñez-Arancibia y P. Sánchez-Gil 2002. Assessing coastal management plans using watershed spatial models for the Mississippi delta, USA, and the Usumacinta/Grijalva delta, México.
- Richards, W.J., T. Lemin, 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.
- Snelgrove, P.V.R. 1999. Getting to the Bottom of Marine Biodiversity: Sedimentary Habitats. *BioScience* 49(2): 129-138.
- Soberón-Chávez, G., y A. Yáñez-Arancibia 1985. Control ecológico de los peses demersales: Variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia en la producción natural de los recursos pesqueros. En: A. Yáñez-Arancibia (ed.). *Recursos Pesqueros Potenciales de México: La pesca acompañante del camarón*. Progr. Univ. de Alimentos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Inst. Nal. de Pesca. UNAM. México. Pp:

339-486.

- Solís, R.S. y G.L. Powell 1999. Hydrography, Mixing Characteristics, and Residence Times of Gulf of Mexico Estuaries. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc.
- Swanson, F.J., S.L. Johnson, S.V. Gregory y S. A. Acker. 1998. Flood Disturbance in a Forested Mountain Landscape. Interactions of land use and floods. *BioScience* 48(9): 681-687.
- Turner, R.E. y N. Rabalais 1991. Changes in Mississippi River water quality in this century. *BioScience* 41: 140-147.
- 1999. Suspended Particulate and Dissolved Nutrient Loadings to Gulf of Mexico Estuaries. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. 423 pp.
- 2003. Linking Landscape and Water Quality in the Mississippi River Basin for 200 Years. *BioScience*. Vol. 53. No. 6: 563-572.
- USA 1998. *Year of the Ocean. Ensuring the sustainability of ocean living resources*.
- 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 pp.
- Wall, F. D. 1999. Biodiversity and Ecosystem Functioning. A especial issue devoted to belowground biodiversity in soils and freshwater and marine sediments. *BioScience*. 49(2): 107-108.
- Wall, F. D., Blackburn, T.H., Brussard, L., Hutchings, P., Palmer, M.A. y P.V.R. Snelgrove 1997. Linking biodiversity and ecosystem functioning of soil and sediments. *Ambio* 26(8): 556-562.
- Wilson, M.F., S.M. Gende y B.H. Marston 1998. "Fishes and the Forest" *BioScience* Vol. 48 No. 6: 455-462.
- 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. En: A. Yáñez-Arancibia (ed.). *Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón*. Progr. Univ. de Alimentos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Inst. Nal. de Pesca. UNAM, México. 748 pp.
- Yáñez-Arancibia, A. y J. Day Jr. (eds.) 1988. Ecología de los ecosistemas costeros en el Sur del Golfo de México. La región de la Laguna de Términos. UNAM-GEA, México. 518 pp.
- Zárata-Lomelí, T., Saavedra, J.L., Rojas-Galaviz, A. Yáñez-Arancibia y E. Rivera 1999. Terms of reference towards an integrated management policy in the coastal zone of the Gulf of Mexico and the Caribbean. *Ocean & Coastal Management* 42: 345-368.

LOS IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL PETRÓLEO Y EL GAS EN LA DISMINUCIÓN DE LOS HUMEDALES COSTEROS DEL DELTA DEL MISISIPÍ

Jae-Young Ko, John Day, John Barras, Robert Morton, James Johnston, Gregory Steyer, G. Paul Kemp, Ellis Clairain y Russell Theriot

INTRODUCCIÓN

El delta del Misisipi incluye el área más grande de humedales costeros en los Estados Unidos de América, y sostiene uno de los desarrollos de extracción de petróleo más extensos de cualquier área costera en el mundo. La zona costera de Luisiana, (figura 1) que comprende la mayor parte del delta del Misisipi, ocupa aproximadamente 3.8 millones de hectáreas. La zona incluye cuerpos de agua, marismas (dulces, intermedias, salobres y saladas) humedales boscosos, vegetación subacuática, planicies de lodo, playas, y hábitats terrestres sobre diques naturales con bosques, agricultura y desarrollos urbanos. Las marismas comprenden aproximadamente el 63% de la tierra de la zona costera y Luisiana contiene cerca del 60% de los estuarios y marismas del Golfo de México (Lindstedt *et al.* 1991). Los humedales costeros son vitales para proteger las áreas desarrolladas del oleaje de las tormentas, proveen a la vida silvestre y los peces de hábitats y mejoran la calidad del agua (Mitsch y Gosselink 1993). Desde principios del siglo XX, la zona costera ha experimentado una multitud de impactos ecológicos causados por la actividad humana como la construcción de diques en el río Misisipi, la desecación de humedales a gran escala, deterioro de la calidad del agua, contaminación, y alteración generalizada de la hidrología.

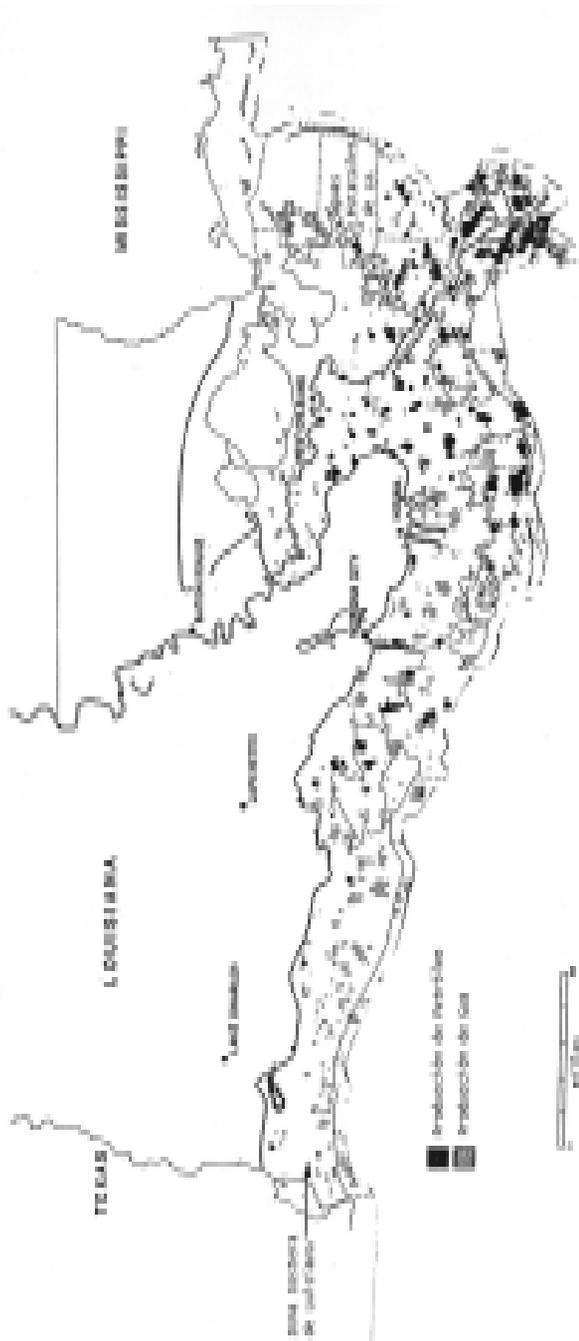
El petróleo crudo es una mezcla principalmente de hidrocarburos y de compuestos orgánicos de azufre, nitrógeno y oxígeno. Geológicamente, la materia orgánica fue transformada en petróleo por el calor y la presión (Lindstedt *et al.* 1991), acumulándose durante la era Cenozoica en rocas areniscas, rocas sedimentarias y esquistos. La cuenca del Golfo de México tuvo un régimen térmico favorable para la maduración óptima de materia orgánica en hidrocarburos y formó trampas estratigráficas estructurales por medio de fallas y movimientos de sal. En Luisiana, la producción de petróleo y gas proviene de formaciones del Mioceno, Plioceno y Pleistoceno (Lindstedt *et al.* 1991).

Históricamente Luisiana ha sido el segundo estado más importante en producción de petróleo y gas, después de Alaska. La producción de petróleo en Luisiana empezó en 1902 y la explotación en la zona costera inició en 1926. La zona costera produjo más de la mitad del petróleo del estado durante los años 50 y alcanzó un máximo anual de quinientos trece millones de barriles en 1970. Desde 1920 hasta 1989, el 58% de la producción total de petróleo del estado de Luisiana y el 47% de la producción de gas natural total del estado provino de la zona costera.

La producción de gas alcanzó su máximo en 1969 con siete punto ocho billones de pies cúbicos y para 1990, la zona costera de Luisiana tenía más de 500 campos de petróleo y gas. Para 1987, el estado había otorgado más de 13 000 concesiones para desarrollos de explotación de gas y petróleo, y más de la mitad de ellas estaban en la zona costera (Lindstedt *et al.* 1991). Aproximadamente el 20% del petróleo crudo y el 33% del gas natural de los Estados Unidos fluye a través de la zona costera de Luisiana (Davis y Guidry 1996). En el año 2000, la recaudación sólo por regalías de mineral fue de 354 millones de dólares, y aproximadamente un millón ochocientos mil empleos en Luisiana están asociados con la industria generadora de energéticos (**LA DNR** 2001). De 1926 a 1983 se recaudaron más de doce mil millones de dólares por las concesiones y la producción en la zona costera. Cuarenta por ciento de la capacidad de refinación está localizada dentro de la región de la zona costera del Golfo de México (Lindstedt *et al.* 1991). Por lo tanto, los riesgos de derrames petroleros han sido altos; por ejemplo en 1994, se reportaron 3,471 derrames en aguas y tierras de Luisiana, principalmente debido a errores humanos o a problemas mecánicos (Davis y Guidry 1996).

Los ecosistemas costeros, incluyendo los humedales, han experimentado una multitud de consecuencias ecológicas debidas al desarrollo petrolero, incluyendo la exploración, preparación de campos de explotación, acceso a

FIGURA 1. LA DISTRIBUCIÓN DE CAMPOS DE PETRÓLEO Y GAS EN LA ZONA COSTERA DE LUISIANA EN 1981.



Fuente: Lindstedt et al. 1991: 53. Usado con permiso de la Louisiana Geological Survey.

los campos, perforación, producción, instalación de ductos, control de derrames, limpieza y clausura de campos (Cahoon 1989). La ecología de la costa es sensible a las actividades petroleras por varias razones: (1) Los diques artificiales, canales y represas alteran el régimen hidrológico natural del delta del Misisipi y como consecuencia afectan la salud de las plantas y las dinámicas de sedimentación; (2) la despresurización por la producción de petróleo y gas favorece el hundimiento; (3) la construcción de ductos que transportan petróleo y gas desde la zona costera y la plataforma continental exterior, tiene un efecto directo sobre el régimen hidrológico natural y lo trastoca; (4) los derrames de petróleo deterioran los hábitats vegetales; (5) los derrames de petróleo y agua de desecho estresan a los consumidores estuarinos al incrementar la turbidez e introducir toxinas, etc., y (6) la reducción del área de humedales debido a impactos directos o indirectos reduce las zonas de crianza de los consumidores estuarinos (como peces y camarones) y disminuye su valor económico. En este capítulo nos ocupamos específicamente del impacto de las actividades petroleras y de producción de gas sobre la reducción de humedales costeros en el delta del Misisipi.

La zona central del norte, no es la única región del Golfo de México que produce petróleo. Hay áreas importantes de producción en el oeste y en el sur del Golfo, especialmente las asociadas al delta del Grijalva-Usumacinta y a la región de la laguna de Términos. Por lo tanto, la información obtenida del delta del Misisipi, sobre el impacto de las actividades petroleras y sobre las maneras de mitigarlas, será valiosa para estas otras áreas.

EL CICLO DEL DELTA Y LA PÉRDIDA DE HUMEDALES EN EL DELTA DEL MISISIPI

EL CICLO DEL DELTA

Para entender los factores relacionados a la pérdida de humedales, es necesario entender el ciclo del delta del Misisipi. El nivel del mar se estabilizó cerca de su nivel actual después de la última glaciación entre 5,000 y 7,000 años (Milliman y Emery 1968). Desde entonces, variaciones de localización del delta del Misisipi han creado una serie de lóbulos deltáicos que se traslapan y que en el presente forman la planicie del delta del Misisipi de Luisiana (Scruton 1960, Roberts 1997). Las variaciones de localización del delta, suceden cada 1,000 años aproximadamente, y resultan en nuevos puntos nodales de sedimentación y desarrollo de marismas. El desarrollo rápi-

do de tierra firme ocurre en los lóbulos activos del delta, mientras que el hundimiento y la pérdida de humedales sucede en los lóbulos abandonados. El río Atchafalaya es el canal más reciente en el proceso de variación del delta. La expresión subaérea del nuevo delta del Atchafalaya empezó en 1973. Esta área presenta actualmente una ganancia neta de humedales (Van Heerden y Roberts 1980, Barras *et al.* 2003).

Así, el proceso de construcción del delta es un balance entre las fuerzas que promueven el crecimiento de la masa terrestre del delta y las que causan su deterioro. El río Misisipi es la principal fuerza que promueve el crecimiento de tierra. Las inundaciones de los bancos, el ensanchamiento de grietas y la remodelación de las arenas, han formado el esqueleto del marco de diques naturales y barreras insulares dentro del cual se ha formado el delta (Kesel 1988, 1989, Kesel *et al.* 1992, Davis 2000). El ensanchamiento de grietas ocurre donde las inundaciones de los bancos se concentran en canales bien definidos con suficiente capacidad de barrido para erosionar rupturas en los diques, de modo permanente o semipermanente.

La deposición de sedimentos de grano fino o grueso formó inicialmente (como en el delta del Atchafalaya que está emergiendo) nuevos humedales y ayudó a mantener los existentes. Los sedimentos que entran en suspensión nuevamente durante las tormentas también son importantes para mantener las marismas. Gran parte de los sedimentos depositados en la superficie de las marismas costeras en el delta del Misisipi, entran en suspensión nuevamente desde el fondo de las bahías durante los huracanes y el paso de frentes climáticos o son transportados desde el área cerca de la orilla (Baumann y Day 1984, Reed 1989, Cahoon *et al.* 1995). Una vez que se forma un humedal, un mecanismo importante que mantiene las marismas costeras es la formación de suelo orgánico por las plantas de los humedales (DeLaune *et al.* 1979).

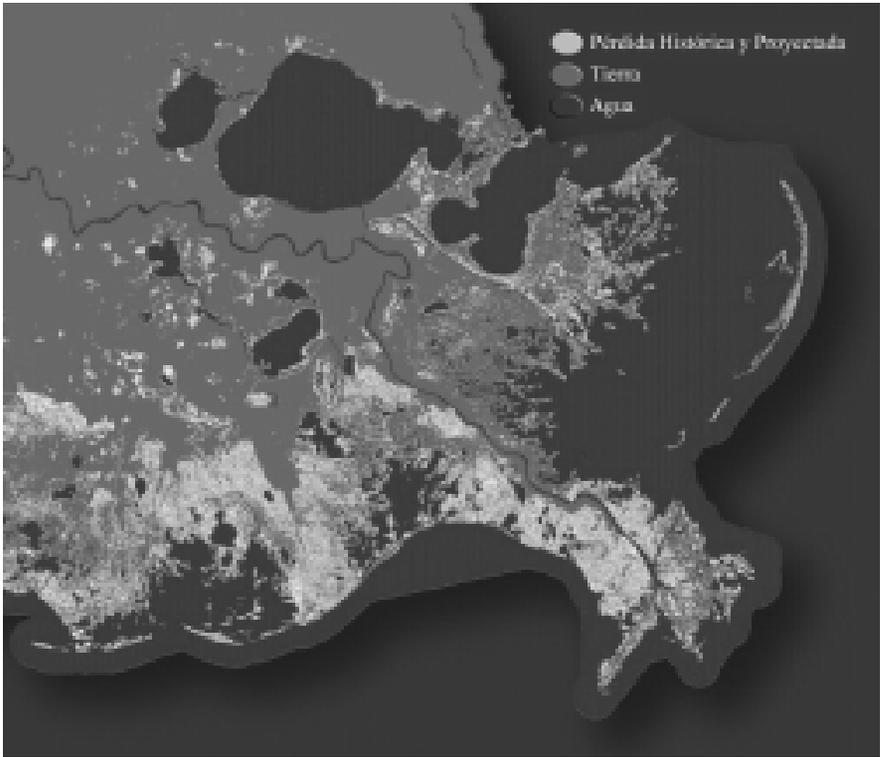
PÉRDIDA DE HUMEDALES EN EL DELTA DEL MISISIPÍ DURANTE EL SIGLO XX

Durante el siglo XX se revirtió drásticamente el crecimiento neto del delta del Misisipi, que tuvo lugar durante los últimos milenios (Day *et al.* 2000). Se registraron altos índices de disminución de tierra que llegaron a 100 km² al año (Craig *et al.* 1979, Gagliano *et al.* 1981), y alcanzaron un total de 3 900 km² de humedales costeros perdidos entre los años 1930 y 1990 (Boesch *et al.* 1994). Los índices más altos de disminución de tierras se registraron durante los años 1960 y 1970 y han declinado desde entonces, aunque permanecen

altos (Chabreck y Palmisan 1973, Baumann y Turner 1990, Britsch y Dunbar 1993). Durante la última década (1990-2000) los índices de disminución de tierra costera fueron cercanos a 65 km² por año (Barras *et al.* 2003, figura 2).

Muchos factores han sido asociados a la disminución de tierras costeras, incluyendo la eliminación de aportes fluviales a la mayor parte de la zona costera debido a la construcción de diques para controlar las inundaciones a lo largo de río Misisipi y el cierre de brazos del delta; la alteración de la hidrología por la construcción de canales y represas; la intrusión de agua salada; la erosión por oleaje en partes expuestas de la línea costera; el declive

FIGURA 2. TENDENCIAS DE LA PÉRDIDA DE HUMEDALES EN LA COSTA DE LUISIANA



Fuente: modificado de Barras *et al.* 2003.

de sedimentos suspendidos en el río Misisipi; fallas geológicas, y alto incremento relativo del nivel del mar (IRNM = incremento eustático del nivel del mar más el hundimiento; para una revisión de estos temas ver Turner 1987, Boesch *et al.* 1994, Day *et al.* 2000, Morton *et al.* 2002). La mayoría de los investigadores han concluido que la pérdida de tierra costera se debe a una interacción compleja de estos factores que actúan a diferentes escalas de espacio y tiempo (por ejemplo, Turner y Cahoon 1987, Kesel 1988, 1989, Day y Templet 1989, Boesch *et al.* 1994, Day *et al.* 1995, 1997, 2000).

En condiciones naturales, el deterioro de humedales es causado por dos fuerzas principales, el hundimiento y la erosión de las olas a lo largo de la línea costera. El hundimiento geológico es causado por la compactación, el desecamiento y la consolidación de sedimentos. El hundimiento en los deltas conduce a un índice de IRNM que frecuentemente es mucho mayor que el incremento eustático del nivel del mar. Por ejemplo, mientras el índice de incremento eustático actual es de 1 a 2 mm al año, el IRNM en el delta del Misisipi es mayor a 10 mm por año. Así, el incremento eustático contribuye sólo del 10% al 15% del total del IRNM. Si los humedales en los deltas no se acumulan verticalmente a un ritmo igual al índice de IRNM, se estresarán debido a factores como el encharcamiento, la anoxia, la toxicidad de sulfuros, y la salinidad, y en última instancia desaparecerán (Mendelssohn y McKee 1988, McKee y Mendelssohn 1989, Mendelssohn y Morris 2000). Por ejemplo, Mendelssohn y McKee (1988) encontraron que la toxicidad de los sulfuros y los periodos extensos de metabolismo anaeróbeo de las raíces, son factores importantes en la disminución en la producción de semillas y en la muerte de brotes nuevos en las áreas con suelos encharcados y alta salinidad, lo que resulta en una disminución significativa de biomasa sobre el suelo y de la densidad de los tallos de plantas de agua dulce de las marismas (como, *Panicum hemitomom*, *Sagittaria lancifolia*, y *Leersia oryzoides*) (McKee y Mendelssohn 1989). Dado que la acumulación vertical es estimulada tanto por el aporte de sedimentos externos como por formación de suelo orgánico *in situ*, una reducción del aporte de sedimentos o el aumento de estrés para las plantas, puede ocasionar la disminución de los índices de acumulación, y la reducción de la estabilidad de la estructura del suelo y la consecuente pérdida de humedales.

La erosión por el oleaje a lo largo de las líneas costeras expuestas es también una causa de disminución de humedales. Esta erosión no es un factor importante en las marismas interiores, pero ha causado grandes reducciones a lo largo de las costas de grandes lagos y bahías y a lo largo de barreras

insulares. El índice de erosión costera es alto durante los huracanes (Penland 1993). Los huracanes también pueden causar altos índices de disminución de marismas flotantes. Se piensa que los huracanes son parcialmente responsables de los altos índices de disminución de tierra en el delta Birdfoot (Day *et al.* 2000, Barras 2003). Durante la última década (1990-2002), la erosión por el oleaje ha causado una proporción creciente de disminución de tierra (Barras *et al.* 2003).

En suma, la disminución de los humedales costeros en Luisiana ha sido causada por una reducción en las fuerzas que contribuyen al aumento y mantenimiento de tierras, y a un aumento de las fuerzas que contribuyen a su disminución. La construcción de diques a lo largo del río, ha aislado a la mayor parte del delta del Misisipi de las inundaciones del río. La densa red de canales ha ocasionado un alto grado de alteración y aislamiento hidrológicos que ha reducido el aporte a los humedales de sedimentos que entran en suspensión nuevamente y ha aumentado la intrusión de agua salada. Ambas fuerzas han incrementado el estrés de las plantas y la pérdida de humedales (McKee y Mendelsohn 1989). Ahora consideraremos cómo contribuyen las actividades petroleras de perforación y dragado al problema de la pérdida de tierra.

EFFECTOS DE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS EN LOS HUMEDALES COSTEROS

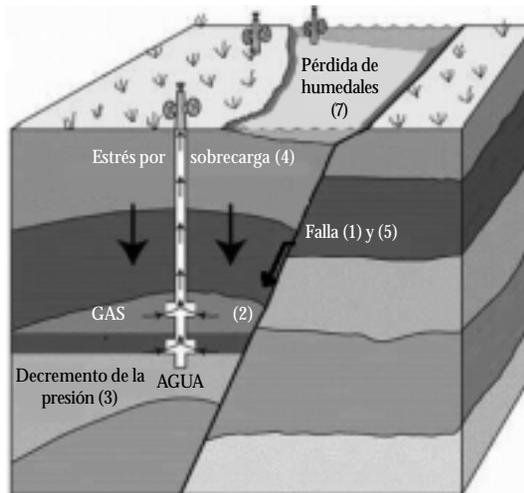
Las actividades relacionadas con la producción de petróleo en las costas de Luisiana han tenido varios impactos, directos e indirectos, que han contribuido a la pérdida de humedales en el delta del Misisipi. Estos factores incluyen el hundimiento inducido por la extracción de fluidos subterráneos y modificaciones hidrológicas causadas por actividades de dragado. Nos ocuparemos de cada uno de estos temas a continuación.

HUNDIMIENTO

Como se comentó, el índice de hundimiento geológico de la región en el delta del Misisipi es de unos 10 mm por año. Este índice se debe a la compactación, a la desecación y consolidación de sedimentos. Morton *et al.* (2002) mostraron que el índice local de hundimiento en campos petroleros y de gas es considerablemente más alto que el promedio regional (con máximos de 23 mm por año). Concluyeron que el patrón de incremento y poste-

rior decremento en la disminución de tierra en el sur y el centro de Luisiana, es atribuible en parte al incremento y posterior decremento en la extracción de petróleo y gas. Los decrementos de la presión en los poros subterráneos asociados con la extracción, fueron suficientemente grandes para que las fallas tensionadas se reactivaran, provocando un hundimiento rápido en el lado hundido de la falla y un mayor estrés por anegamiento de las plantas (figura 3). Cuando la extracción cesó en un campo, Morton *et al.* (2002) se plantearon la hipótesis de que el hundimiento acelerado debería decrecer hasta niveles de preexplotación, y que los altos índices de hundimiento podrían ser temporales.

FIGURA 3. LA PRODUCCIÓN PROLONGADA O RÁPIDA DE PETRÓLEO Y GAS (2) CAUSA LA DECLINACIÓN DE FUERZAS DE FORMACIÓN SUBTERRANEA (3) LAS PRESIONES DISMINUIDAS (3) INCREMENTAN EL ESTRÉS EFECTIVO DE LA SOBRECARGA (4), LO QUE CAUSA LA COMPACTACIÓN DE LAS ROCAS DE LA RESERVA Y PUEDE CAUSAR QUE SE REACTIVEN (5) FALLAS (1). YA SEA LA COMPACTACIÓN DE LOS ESTRATOS O LA SUSTITUCIÓN HACIA ABAJO A LO LARGO DE LAS FALLAS, PUEDE CAUSAR EL HUNDIMIENTO DE TIERRA SUPERFICIAL (6). DONDE OCURRE EL HUNDIMIENTO Y LA REACTIVACIÓN DE FALLAS, LOS HUMEDALES TÍPICAMENTE SE SUMERGEN Y SE CONVIERTEN EN AGUA ABIERTA (7). LA FIGURA NO ESTÁ A ESCALA D ABAJO; U ARRIBA



CANALES Y BANCOS

Se han construido canales en los humedales costeros de Luisiana desde que los europeos llegaron a la región por primera vez a principios del siglo XVIII (Kidder 2000). Durante casi dos siglos, estos canales fueron dragados principalmente para la navegación, como protección contra las inundaciones y para el drenado. Después de 1930, sin embargo, el descubrimiento de campos petroleros y de gas en la zona costera condujo a un incremento rápido en la construcción de canales relacionados con la producción de hidrocarburos (por ejemplo, rutas de ductos y acceso a los sitios de perforación). Por ejemplo en 1984, entre el 70% y 80% de los permisos para construir canales se otorgaron para actividades relacionadas con la explotación de petróleo y gas (US EPA 1987). Para mediados de los años 80, había más de 15,000 km de canales (LA DNR 1996), el área superficial de los canales era equivalente a 2.3% del área de los humedales, y el área total de diques de los bancos de desechos de los canales más la superficie de canales constituía el 9.5% del área de humedales (Turner 1987).

Cuando los canales son dragados, el material excavado se deposita a lo largo de los lados del canal, creando un banco elevado (llamado banco de desechos). Los bancos de desechos consisten generalmente, de suelo orgánico de la marisma. Los bancos de desechos se asientan y desecan y la materia orgánica se oxida, lo cual crea diques que corren paralelos al canal (figura 4). Los bancos de desechos asociados con los campos petroleros y de gas, conducen a la disminución de aportes de sedimentos y a una menor formación de suelos orgánicos en los humedales adyacentes, exacerbando los déficits de acumulación de sedimentos. Los canales y sus bancos de desechos asociados, alteran la hidrología natural de dos maneras principalmente. Primero, la mayoría de los canales son profundos y rectos, lo cual contrasta con los canales naturales que son someros y sinuosos. Consecuentemente, los canales dragados tienden a captar el flujo de los canales naturales. Se ha demostrado que conforme se incrementa la densidad de canales en el área, la densidad de canales naturales decrece (Turner 1987). Si los canales son suficientemente largos y profundos (por ejemplo los canales para la navegación que van desde el Golfo hasta el agua dulce tierra adentro), pueden causar una intrusión significativa de agua salada (Wang 1988) y la muerte de humedales de agua dulce. Dos ejemplos notables de esto son la salida del río Misisipi al Golfo, que causó la muerte de grandes extensiones de humedales de cipreses al sureste de Nueva Orleans, y el canal marítimo de

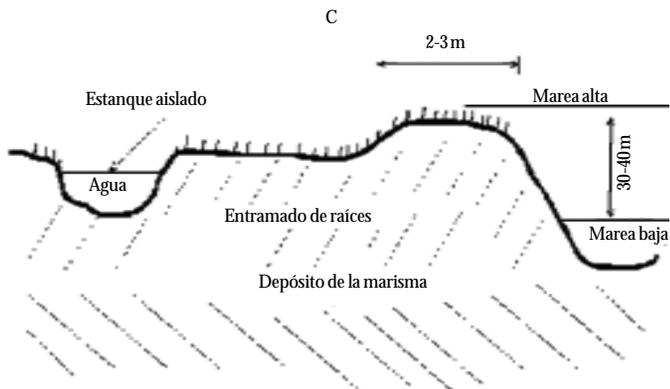
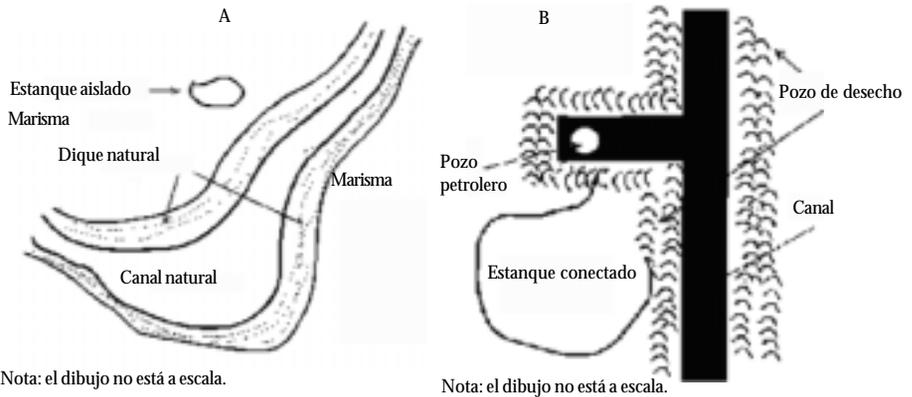
Calcasieu, que condujo a la pérdida de grandes extensiones de marismas de pastizales al suroeste de Luisiana (Day *et al.* 2000). Los canales también contribuyen al deterioro de la calidad del agua. Normalmente, la mayoría de las fuentes puntuales y no puntuales de nutrientes y sedimentos tierra adentro que desaguan por el río Misisipi, lo hacen lentamente de manera natural, a través de humedales que asimilan los nutrientes y los sedimentos (Reddy *et al.* 1993). Los canales que cortan a través de estos flujos pueden contribuir a la eutroficación de los cuerpos de agua abiertos (Craig *et al.* 1979, Hopkinson y Day 1980).

En contraste con los canales que aceleran el flujo de agua, los bancos de desechos reducen el intercambio de agua. El flujo de agua en los humedales ocurre principalmente como una capa de agua delgada que fluye sobre la superficie de la marisma (por ejemplo las inundaciones con flujo laminar). La hidrología de flujo laminar es extremadamente importante en el control de la mayoría de los procesos bioquímicos y ecológicos en los humedales, incluyendo las transformaciones químicas, transporte de sedimentos, salud de las plantas y migración de organismos (Asano 1995, GascuelOdux *et al.* 1996, Day *et al.* 1989). Los bancos de desechos reducen e incluso eliminan las inundaciones. Debido a la presencia de bancos de desechos, las áreas parcialmente represadas tienen menos periodos de inundaciones, pero más prolongados, lo que reduce el intercambio de agua respecto de las marismas no represadas (Swenson y Turner 1987). Si los canales están asociados a los campos de petróleo y gas, el hundimiento se acelera debido a la despresurización, como se señaló arriba. Frecuentemente se desarrollan charcos a 2 ó 3 km de los canales y bancos de desechos y la pérdida de humedales se asocia con las áreas de cambios hidrológicos profundos (Turner y Rao 1990).

Las corrientes de mareas son más fuertes en los canales dragados que en los canales naturales. Esto, aunado a la energía de las olas de las estelas de las embarcaciones, ocasiona la erosión de los bancos. Craig *et al.* (1982) encontraron que los canales se ensanchan a un ritmo de entre 2% y 14% al año, con un tiempo de duplicación del ancho de entre 5 y 60 años. Johnson y Gosselink (1982) propusieron la hipótesis de que el ritmo de ensanchamiento de los canales se incrementaría enormemente una vez que los bancos de desechos se erosionaran totalmente. Los canales se dragan generalmente a una profundidad de 2.5 metros, y varían entre 20 y 40 metros de ancho y entre 100 y 1,000 metros o más de largo (Turner *et al.* 1994).

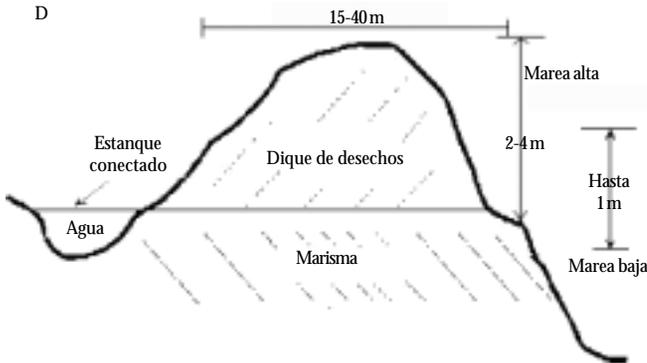
Una manera de restablecer los humedales que sufren del impacto negativo de la construcción de canales y bancos de desecho, es rellenar los canales.

FIGURA 4. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DEL IMPACTO DEL DRAGADO DE CANALES EN LAS MARISMAS COTERAS: (A) VISTA SUPERIOR QUE MUESTRA UN CANAL NATURAL Y UN DIQUE NATURAL; (B) VISTA SUPERIOR DE UN CANAL DRAGADO EN LÍNEA RECTA CON BANCO DE DESECHOS; (C) CORTE DE UNA MARISMA NATURAL. NÓTENSE EL DIQUE NATURAL DEL LADO DE LA CORRIENTE, EL CANAL SOMERO Y QUE LA MAREA ALTA ES MÁS ALTA QUE EL DIQUE NATURAL; (D) CORTE DE UN CANAL DRAGADO. NÓTENSE QUE EL CANAL ES PROFUNDO Y EL BANCO DE DESECHOS ES MÁS ALTO QUE LA MAREA ALTA NORMAL, LO QUE PREVIENE LA INUNDACIÓN DE LA MARISMA



(Continúa)

FIGURA 4. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DEL IMPACTO DEL DRAGADO DE CANALES EN LAS MARISMAS COTERAS



Después de que han sido abandonados, los bancos de desecho se empujan nuevamente al canal y se reforesta o permite que la vegetación recolonice de manera natural. Turner *et al.* (1994) examinaron durante 10 años la recuperación de canales rellenados y encontraron que los canales más largos tienen índices de recolonización de flora más altos y que el contenido orgánico del humedal está inversamente relacionado con la profundidad del canal, argumentando que la práctica de rellenar canales es muy útil. Sin embargo, Gosselink (2000) sostiene que rellenar canales no es efectivo en general porque el sustrato desnudo en marismas degradadas, frecuentemente se inunda a demasiada profundidad para sustentar especies emergentes.

REPRESAS

Las marismas costeras intercambian agua, materia orgánica (por ejemplo detritos), nutrientes (como nitrógeno y fósforo) y organismos con las aguas estuarinas circundantes (Childers *et al.* 2000), que sustentan moluscos y peces estuarinos (Montague *et al.* 1987). Un proceso que ha afectado estos procesos en marismas costeras es la construcción de represas. Las represas se construyen por una gran variedad de razones. A principios del siglo XIX, las represas se construían para reclamar tierra para desarrollos urbanos y actividades agrícolas

(por ejemplo, Harrison y Kollmorgen 1947, Colten 2000). Muchas de estas áreas fallaron debido a hundimientos excesivos y a inundaciones durante los huracanes. Algunas áreas sin embargo, perduran, especialmente en el área metropolitana de Nueva Orleans. En el siglo XX, se construyeron muchas represas en los humedales, para mejorar las condiciones para las aves acuáticas y para el manejo de marismas (Cahoon y Groat 1990, Day *et al.* 1990). Estas áreas fueron semirepresas, es decir fueron rodeadas por diques bajos con varias estructuras de control de aguas. Este tipo de manejo, llamado manejo estructural de marismas, se llevaba a cabo principalmente manipulando el nivel del agua. Las estructuras de control de agua pueden ser pasivas (por ejemplo con cortinas de cresta fija), o activas (por ejemplo con cortinas de cresta variable y compuertas de trampa para permitir el flujo de agua en una dirección). Además de estas represas construidas a propósito, hay grandes áreas de la zona costera que por descuido han sido parcial o completamente rodeadas, por el impacto acumulativo de la construcción de canales y bancos de desecho. Cerca del 30% del área total de humedales de Luisiana, ha sido represada a propósito o accidentalmente (Turner y Neill 1984, Day *et al.* 1990).

Se ha demostrado que las represas reducen el intercambio de mareas y el flujo de sedimentos en suspensión, reducen el índice de acumulación, la productividad, y el movimiento de especies migratorias (Turner y Cahoon 1987, Cahoon y Groat 1990, Reed 1992, Rogers *et al.* 1992, Bouman y Day 1994, Cahoon 1994, Reed *et al.* 1997). En un estudio del manejo de marismas mediante represas conducido en dos marismas de Luisiana, Cahoon (1994) y Bouman y Day (1994) reportaron deposiciones de sedimentos altos en marismas no manejadas. Las estructuras de control de agua redujeron enormemente el intercambio de agua y el aporte de sedimentos a las áreas manejadas.

LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL PETRÓLEO Y LA PÉRDIDA DE HUMEDALES

De la discusión anterior, emergen varias conclusiones. Bajo condiciones naturales, el establecimiento y el deterioro de los humedales en el delta del Misisipi son procesos muy complejos que involucran varios factores que incluyen factores geológicos y geofísicos (por ejemplo, los cambios de curso de los canales, la introducción y deposición de sedimentos, el hundimiento, la acumulación vertical, la erosión del oleaje, la intrusión de agua salada y el incremento del nivel del mar), factores bioquímicos (como, formación anaerobia de suelos, reducción de sulfatos y la descomposición de turba), y consecuencias ecológicas (anegamiento e incremento de la salinidad que

conducen a estrés y a la muerte de las plantas, a bajos índices de formación de suelos orgánicos y reducción de alimentación de los herbívoros. Antes de la alteración generalizada debido a actividades humanas, había grandes pérdidas y grandes ganancias de humedales en diferentes lugares de las planicies del delta conforme el río cambiaba su curso, pero había una ganancia neta grande de humedales en el delta del Misisipi.

En el siglo XX, la ganancia neta de largo plazo se revirtió y el área de humedales en el delta del Misisipi disminuyó 25% aproximadamente. Es claro que parte de estas pérdidas fueron naturales y habrían ocurrido sin los impactos humanos, pero parece obvio que la inversión dramática de ganancia neta a pérdida neta, puede ser atribuida a las actividades humanas. Dos procesos generales interrelacionados entre sí y con el petróleo y el gas contribuyeron a estas pérdidas: cambios hidrológicos generalizados y hundimiento dramáticamente acelerado.

Desde el punto de vista hidrológico el delta del Misisipi ha sido aislado completamente del río que lo construyó. Los diques que llegan hasta la boca del canal principal del río han desviado el 70% del agua y los sedimentos al Golfo de México. En cambio, la región del delta del Atchafalaya, donde no se ha aislado al río, el agua de éste y los sedimentos nutren áreas someras tierra adentro y los humedales ganan terreno. Internamente, la planicie del delta del Misisipi ha sufrido enormes cambios hidrológicos. Una red muy densa de canales, en su mayoría asociados con el petróleo, ha cambiado dramáticamente al delta del Misisipi. Estos canales permiten la intrusión del agua salada y reducen el flujo laminar de agua y el flujo de sedimentos y contribuyen a bajar los índices de acumulación. Las represas aislan grandes extensiones de la zona costera de las áreas estuarinas adyacentes.

Cerca de los campos de petróleo y gas, el hundimiento se ha incrementado debido a la despresurización y la hidrología superficial debido a los canales y los bancos de desechos. Así, el IRNM se incrementó y los índices de acumulación se redujeron. Este fenómeno se debe a la reducción tanto de sedimentos externos, como de formación de suelo orgánico *in situ*. Algunos investigadores le han atribuido a los canales prácticamente toda la pérdida de humedales en la zona costera (Turner 1997). No hay duda que la actividad petrolera ha tenido un enorme impacto sobre la pérdida de humedales. En las áreas de extracción intensa de gas y petróleo es probable que la mayor parte de la pérdida de humedales puede estar relacionada con los impactos combinados del incremento por hundimiento y de las alteraciones en la superficie. Pero los altos índices de pérdida de humedales también están

relacionados con el aislamiento del río Misisipi del delta, con la erosión de las olas, la intrusión de agua salada y con cambios en la ingeniería de la boca del río Misisipi. Probablemente no es posible adjudicarle un valor específico a la importancia relativa de estos factores, debido a la complejidad del problema de la pérdida de tierra.

Desde un punto de vista más amplio, tanto el suministro (aportes al delta) como el sistema que lo recibe, han sido afectados por los diques a lo largo del río y de modo adicional por las actividades petroleras. Tanto el aporte ribereño como el aporte de sedimentos resuspendidos han disminuido. La alteración de la hidrología interna del delta ha afectado fuertemente la hidrología de los humedales y al aporte de sedimentos a estos. Sin embargo, la combinación de la eliminación de aportes ribereños y las alteraciones hidrológicas internas, condujeron a la pérdida dramática de humedales. La región Atchafalaya es un ejemplo de cómo el aporte ribereño puede contrarrestar el impacto de los canales. En la boca del río Atchafalaya, los campos de extracción de petróleo y gas no están generalmente asociados con la pérdida de humedales. Pero es uno de los factores que en conjunto han causado la pérdida general de tierra.

CONCLUSIONES

Luisiana ha experimentado índices de pérdida de humedales hasta de 100 km al año en los años 1970 (Boesch *et al.* 1994). Este alto índice de pérdidas ha sido atribuido a varios factores. La causa inmediata de gran parte de las pérdidas se debe al estrés en las plantas resultante tanto de causas naturales como humanas, seguido de la muerte de las plantas y la subsecuente erosión del sustrato de la marisma y la formación de pequeños charcos que después se unen en cuerpos de agua más grandes. Las causas del estrés de las plantas en las marismas de Luisiana se han atribuido al anegamiento (causado por la insuficiente elevación de la superficie de la marisma que provoca altos índices de hundimiento en la planicie deltáica y bajos índices de acumulación) y a la salinidad que resulta de la intrusión de agua salada (frecuentemente debida a las tormentas) a marismas del interior.

Las actividades relacionadas con el petróleo han afectado la pérdida de humedales costeros de varias maneras. La extracción de gas y petróleo aumentó el índice de hundimiento, en algunos casos por un factor de dos o tres, debido a la reducción de la presión subterránea de los poros que conllevó el hundimiento relacionado con fallas. En la superficie, los canales han afectado significativa-

mente la hidrología natural. Los canales profundamente dragados alteraron los cauces de flujo de agua y en algunos casos propiciaron la intrusión de agua salada. Los bancos de desecho redujeron el intercambio de flujo de agua sobre la tierra y el aporte de sedimentos a la superficie de los humedales. La combinación de estos factores ha incrementado el estrés y la mortalidad de las plantas, lo que conduce a una pérdida significativa de humedales en el delta del Misisipi. Aunque la producción de petróleo y gas en las bahías tierra adentro ha disminuido desde los años 1970, el transporte de petróleo y gas desde la Plataforma Continental Externa hasta el Superpuerto de Luisiana a través de la zona costera sigue siendo considerable. Por ello, los riesgos asociados con los derrames de petróleo y la alteración hidrológica continúan. Es difícil cuantificar el impacto de las actividades petroleras sobre el problema de la pérdida total de tierra, porque la pérdida de humedales es un proceso extremadamente complejo, que relaciona numerosos factores que actúan juntos.

El delta del Misisipi arroja lecciones importantes para las áreas que producen petróleo en el Golfo de México. Las dos más importantes son la de mantener la conectividad entre los ríos y los humedales deltáicos y reducir el impacto negativo en el aspecto hidrológico causado por la construcción de canales.

AGRADECIMIENTOS

Este esfuerzo fue patrocinado por la U.S. Geological Survey, la National Oceanic and Atmospheric Administration a través del Louisiana Sea Grant College Program (NOAA Grant No. NA16G2249), el Louisiana Dept. of Natural Resources, y el Army Corps of Engineers. Agradecemos al Dr. Brian Perez, al Dr. Sijan Sapkota y a la señora Beth Vairin de la U.S. Geological Survey sus útiles comentarios. Este artículo es una adaptación de dos anteriores sobre el impacto de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas.

BIBLIOGRAFÍA

- Asano, T. 1995. Sediment transport under sheet-flow conditions. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-ASCE* 121 (5): 239-246.
- Barras, J., S. Beville, D. Britsch, S. Hartley, S. Hawes, J. Johnston, P. Kemp, Q. Kinler, A. Martucci, J. Porthouse, D. Reed, K. Roy, S. Sapkota, y J. Suhayda 2003. *Historical and Projected Coastal Louisiana Land Changes: 1978-2050*. USGS Open File Report 03-334. 39 pp.
- Baumann, R. H., y J. W. Day, Jr. 1984. Mississippi deltaic wetland survival: sedimentation

- versus coastal submergence. *Science* 224: 1093-1095.
- Baumann, R. H., y R. E. Turner 1990. Direct impacts of outer continental shelf activities on wetland loss in the Gulf of Mexico. *Environmental Geology and Water Science* 15(3): 189-198.
- Boesch, D. F., M. N. Josselyn, A. J. Mehta, J. T. Morris, W. K. Nuttle, C. A. Simenstad, y D. J. Swift 1994. Scientific assessment of coastal wetland loss, restoration and management in Louisiana. *Journal of Coastal Research* Special Issue No. 20.
- Boumans, R. M., y J. W. Day, Jr. 1994. Effects of two Louisiana marsh management plans on water and materials flux and short-term sedimentation. *Wetlands* 14(4): 247-261.
- Britsch, L. D. y J. B. Dunbar 1993. Land loss rates: Louisiana coastal plain. *Journal of Coastal Research* 9: 324-338.
- Cahoon, D. R. 1989. *Onshore Oil and Gas Activities Along the Northern Gulf of Mexico Coast: A Wetland Manager's Handbook*. Lee Wilson and Associates, Santa Fe, Nuevo Mexico.
- Cahoon, D. R. 1994. Recent accretion in two managed marsh impoundments in coastal Louisiana. *Ecological Applications* 4: 166-76.
- Cahoon, D. R. y C. G. Groat 1990. *A Study of Marsh Management Practice in Coastal Louisiana*. Vol. 1. Executive Summary. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana.
- Cahoon, D. R., D. J. Reed, J. W. Day, Jr., G. D. Steyer, R. M. Boumans, J. C. Lynch, D. McNally y N. Latif 1995. The influence of Hurricane Andrew on sediment distribution in Louisiana coastal marshes. *Journal of Coastal Research* 21: 280-94.
- Chabreck, R. H. y A. W. Palmisan 1973. Effects of Hurricane Camille on marshes of Mississippi River Delta. *Ecology* 54: 1118-23.
- Childers, D. L. y J. W. Day 2000. 'A review of marsh and estuarine flux studies from the south Atlantic and Gulf of Mexico', in M. P. Weinstein y D. A. Kreeger (eds.). *Concepts And Controversies In Tidal Marsh Ecology*. Boston: Kluwer Academic Publishers. Pp. 391-423.
- Colten, C. E. 2000. Too much of a good thing: industrial pollution in the Lower Mississippi River. En: C. E. Colten (ed.). *Transforming New Orleans and Its Environs*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press. Pp. 141-159.
- Craig, N. J., R. E. Turner y J. W. Day, Jr. 1979. Land loss in coastal Louisiana (U.S.A.) *Environmental Management* 3: 133-144.
- Davis, D. W. 2000. Historical perspective on crevasses, levees, and the Mississippi River. En: C. E. Colten (ed.). *Transforming New Orleans and Its Environs*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh. Pp. 84-106.
- Davis, D. y R. Guidry 1996. Oil, oil spills and the state's responsibilities. *Basin Research Institute Bulletin* 6: 60-8.
- Day, J. W., Jr. y P. H. Templet 1989. Consequences of sea level rise: implications from the

- Mississippi Delta. *Coastal Management* 17: 241-257.
- Day, J. W., C. Hall, M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia 1989. *Estuarine Ecology*. Wiley, New York. 558 pp.
- Day, J. W., Jr., D. Pont, P. Hensel y C. Ibanez 1995. Impacts of sea level rise on delta in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries* 18: 636-647.
- Day, J. W., Jr., J. F. Martin, L. Cardoch y P. H. Templet 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management* 25: 115-153.
- Day, J. W., Jr., L. D. Britsch, S. R. Hawes, G. P. Shaffer, D. J. Reed y D. Cahoon 2000. Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: a spatial and temporal analysis of wetland habitat change. *Estuaries* 23: 425-38.
- Day, R. H., R. K. Holz y J. W. Day Jr. 1990. An inventory of wetland impoundments in the coastal zone of Louisiana, USA: Historical trends. *Environmental Management* 14: 229-40.
- DeLaune, R. D., R. J. Buresh y W. H. Patrick, Jr. 1979. Relationship of soil properties to standing crop biomass of *Spartina alterniflora* in a Louisiana marsh. *Estuarine and Coastal Marine Science* 8: 477-487.
- Frazier, D. 1967. Recent deltaic deposits of the Mississippi River, their development and chronology. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies* 17: 287-315.
- Gagliano, S. M., K. J. Meyer-Arendt y K. M. Wicker 1981. Land loss in the Mississippi River deltaic plain. *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies* 31: 295-300.
- C. Gascuel-Odux, S. Cros-Cayot y P. Durand 1996. Spatial variations of sheet flow and sediment transport on an agricultural field. *Earth Surface Processes and Landforms* 21(9): 843-851.
- Gornitz, V., S. Lebedeff y J. Hansen 1982. Global sea level trend in the past century. *Science* 215:1611-4.
- Gosselink, J. G. 2000. Comments on "wetland loss in the Northern Gulf of Mexico: multiple working hypotheses." por R.E. Turner (1997). *Estuaries* 24: 636-651.
- Harrison, R. W. y W. M. Kollmorgen 1947. Drainage reclamation in the coastal marshlands of the Mississippi River delta. *Louisiana Historical Quarterly* 30: 654-709.
- Hopkinson, C. S., y J. W. Day 1980. Modeling hydrology and eutrophication in a Louisiana swamp forest ecosystem. *Environmental Management* 4: 325-335.
- Johnson, W. B. y J. G. Gosselink 1982. Wetland loss directly associated with canal dredging in the Louisiana coastal zone. En: D. Boesch (ed.). *Proc. Land Loss Conference*, October 1981, Baton Rouge, Louisiana. Pp.60-72.
- Kesel, R. H. 1988. The decline in the suspended load of the Lower Mississippi River and its influence on adjacent wetlands. *Environmental Geology and Water Sciences* 11:

271-81.

- Kesel, R. H. 1989. The role of the Mississippi River in wetland loss in Southeastern Louisiana, USA. *Environmental Geology and Water Sciences* 13: 183-93.
- Kesel, R. H., E. G. Yodis y D. J. McCraw 1992. An approximation of the sediment budget of the Mississippi River prior to major human modification. *Earth Surface Processes and Landforms* 17: 711-22.
- Kidder, T. R. 2000. Making the city inevitable: native Americans and the geography of New Orleans. En: C. E. Colten (ed.). *Transforming New Orleans and Its Environ.* University of Pittsburgh Press, Pittsburgh. Pp.9-21.
- Ko, J. Y. y J. W. Day 2003a. Impacts of energy development in wetlands: the Mississippi Delta. En: C. J. Cleveland (editor in chief). *Encyclopedia of Energy*, Academic Press.
- Ko, J. Y. y J. W. Day 2003b. A review of ecological impacts of oil and gas development on coastal ecosystems in the Mississippi Delta. *Ocean and Coastal Management*.
- Lindstedt, D. M., L. L. Nunn, J. C. Holmes, Jr. y E. E. Willis 1991. *History of Oil and Gas Development in Coastal Louisiana*. Louisiana Geological Survey, Baton Rouge, Louisiana.
- LA DNR [Louisiana Department of Natural Resources] 1996. *Well Status Master*. Baton Rouge, Louisiana.
- LA DNR [Louisiana Department of Natural Resources]. 2001. *Louisiana Energy Facts Annual*. Baton Rouge, Louisiana.
- McKee, K. L., y I. A. Mendelssohn 1989. Response of a freshwater marsh plant community to increased salinity and increased water level. *Aquatic Botany* 34:301-16.
- Mendelssohn, I. A. y K. L. McKee 1988. *Spartina alterniflora* die-back in Louisiana: time-course investigation of soil waterlogging effects. *Journal of Ecology* 76: 509-21.
- Mendelssohn, I. A. y J. T. Morris 2000. Eco-physiological controls of the productivity of *Spartina Alterniflora* loisel. En: M. P. Weinstein y D. A. Kreeger (eds.). *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Boston. Pp.59-80.
- Milliman, J. y K. Emery 1968. Sea levels during the past 35,000 years. *Science* 162:1121-3.
- Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink 1993. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Montague, C. L., A. V. Zale y H. F. Percival 1987. Ecological effects of coastal marsh impoundments: a review. *Environmental Management* 11: 743-756.
- Morton, R. A., N. A. Buster y M. D. Krohn 2002. Subsurface controls on historical subsidence rates and associated wetland loss in Southcentral Louisiana. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 52: 767-778.
- Penland, S. 1993. *Role of Louisiana Barrier Islands in Protecting Mainland Marsh From Wave Erosion*. U.S. Geological Survey, Baton Rouge, Louisiana.
- Reddy, K. R., R. D. DeLaune, W. F. DeBusky y M. S. Koch 1993. Long-term nutrient accumulation

- rates in the Everglades. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1147-1155.
- Reed, D.J. 1989. Patterns of sediment deposition in subsiding coastal marshes, Terrebonne Bay, Louisiana-the role of winter storms. *Estuaries* 12: 222-7.
- 1992. Effect of weirs on sediment deposition in Louisiana coastal marshes. *Environmental Management* 16: 55-65.
- Reed, D.J., N. De Luca y A. L. Foote 1997. Effect of hydrologic management on marsh surface sediment deposition in coastal Louisiana. *Estuaries* 20: 301-11.
- Roberts, H. 1997. Dynamic changes of the holocene Mississippi River Delta plain: the delta cycle. *Journal of Coastal Research* 13: 605-27.
- Rogers, D. R., B. D. Rogers y W. H. Herke 1992. Effects of a marsh management plan on fishery communities in coastal Louisiana. *Wetlands* 12: 53-62.
- Scruton, P. 1960. Delta building and the deltaic sequence. En: P. Trask (ed.). *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. Okalahoma: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa. Pp. 82-102.
- Swenson, E. M. y R. E. Turner 1987. Spoil banks: effects on a coastal marsh water-level regime. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 24: 599-609.
- Turner, R. E. 1987. *Relationship between canal and levee density and coastal land loss in Louisiana*. US Fish Wildlife Service Biological Report 85(14).
- Turner, R. E. y C. Neill 1984. Revising impounded wetlands after 70 years. En: R. J. Varnell (ed.). *Water Quality and Wetland Management: Conference Proceedings*, New Orleans, Louisiana.
- Turner, R. E. y D. Cahoon 1987. *Causes of Wetland Loss in the Coastal Central Gulf of Mexico*. Final report submitted to the Minerals Management Service, New Orleans, LA. OCS Study/MMS 87-0119.
- Turner, R.E., y Y. S. Rao 1990. Relationships between wetland fragmentation and recent hydrologic changes in a deltaic coast. *Estuaries* 13: 72-281.
- Turner, R. E., J. M. Lee y C. Neill 1994. Backfilling canals to restore wetlands: empirical results in coastal Louisiana. *Wetlands Ecology and Management* 3: 63-78.
- US EPA [United States Environmental Protection Agency] 1987. *Saving Louisiana's Coastal Wetlands*. Louisiana Geological Survey. EPA-230-02-87-026.
- van Heerden, I. y H. Roberts 1980. The Atchafalaya Delta – Louisiana's new prograding coast. *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies* 30:497-506.
- Wang, F. C. 1988. Saltwater Intrusion Modeling: The Role of Man-made Features. En: R. E. Turner y D. R. Cahoon (eds.). *Causes of Wetland Loss in the Coastal Central Gulf of Mexico*. Volume 2: Technical Narrative. Final Report submitted to Minerals Management Service, New Orleans, Louisiana. Contract No. 14-12-002-30252. OCS Study/MMS 87-0119. 400 pp.

QUINTA PARTE
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS
DEL GOLFO DE MÉXICO

HACIA UN MANEJO INTEGRADO DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DEL GOLFO DE MÉXICO

*Antonio Díaz-de-León, Porfirio Alvarez-Torres,
Roberto Mendoza-Alfaro, José Ignacio Fernández-Méndez
y Oscar Manuel Ramírez-Flores*

LAS CUMBRES SOBRE DESARROLLO SUSTENTABLE: RÍO (1992) Y JOHANNESBURGO (2002)

El Golfo de México presenta actualmente un acelerado deterioro ambiental que apunta hacia un posible colapso en diversos frentes. Las frágiles cadenas productivas de este ecosistema se ven comprometidas de manera permanente, dejando sin oportunidad de uso a las futuras generaciones. Los recursos pesqueros, forestales, costeros y de otros agentes productivos como la industria del petróleo, turismo y agricultura han afectado al ecosistema y al mismo tiempo han visto afectadas su producción. Los diversos problemas identificados en las últimas décadas inherentes al medio marino, costero y de las actividades productivas realizadas en el Golfo de México tienen un vínculo con diversos acuerdos internacionales en materia de conservación de recursos y medio ambiente, de los cuales México es parte firmante; sin embargo, las acciones para revertir dicho deterioro han sido pocas y por lo general se han efectuado de manera aislada y no integrada.

La Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas adoptó en la Cumbre de Río de 1992 varios aspectos de importancia para estos ecosistemas; sin embargo, el avance de la Agenda 21 en dicha materia ha sido lento. Actualmente la implementación del Plan de Johannesburgo de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sustentable (WSSD)

que hizo un llamado a la comunidad internacional para “*mantener la productividad y biodiversidad de importantes y vulnerables áreas costeras, incluyendo áreas dentro de la jurisdicción nacional y aquellas fuera de la misma*” abre una ventana de oportunidad para orientar acciones específicas a favor del manejo integral de los recursos marinos, costeros y cuencas asociadas del Golfo de México. Así mismo cabe destacar que México es parte de otros compromisos alternos en la comunidad mundial y de instrumentos globales como la Convención de la Ley del Mar de las Naciones Unidas (UNCLOS por sus siglas en inglés), Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), Programa de Acción Mundial (PAM) para la Protección de los Ecosistemas Marinos de las actividades de Origen Terrestre, Convenio Marco de la Convención de Cambio Climático (CMCC), Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO, así como el más reciente acuerdo denominado Protocolo de Cartagena sobre Organismos Vivos Modificados (OVM), y que ellos inciden de varias formas sobre el acceso a recursos genéticos, conservación de la biodiversidad y reversión del deterioro ambiental. No obstante la existencia de dichos acuerdos múltiples que consideran diferentes aspectos de conservación de los ecosistemas, biodiversidad y acceso a recursos genéticos, la aplicación real de los mismos en el nivel nacional es lenta, en parte debido a las sinuosas condiciones legales y normativas en materia ambiental y a la distancia con respecto a los actores sociales y productivos usuarios de los recursos naturales costeros, marinos y cuencas asociadas al ecosistema del Golfo de México.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DEL GOLFO DE MÉXICO

El Gran Ecosistema Marino del Golfo de México se sitúa entre la costa este de México, el noroeste de Cuba y la costa sur de los Estados Unidos de América. Es semicerrado con una pequeña entrada y salida en el oeste central del Océano Atlántico y una conexión con el Mar Caribe hacia el sur. El litoral del Golfo de México está bordeado por 27 grandes sistemas, estuarios, bahías y lagunas costeras, que sirven de áreas de refugio, alimentación y reproducción de numerosas especies que representan a las pesquerías ribereñas más importantes. Aunque la riqueza biológica de los sistemas costeros y el papel que juega en las funciones ecológicas del Golfo de México no está bien entendido, se sabe que los pantanos costeros de Tabasco y Campeche albergan 45 de las 111 especies de plantas acuáticas reportadas

para México, que lo convierte en la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica. En cuanto a peces de aguas dulces, de las 500 especies enlistadas para América Central, a los humedales costeros del golfo corresponde más de la mitad. Este valor como hábitat es su mayor aportación a la economía ecológica del Golfo, independientemente de sus vinculaciones energéticas y económicas con las pesquerías de alto valor (Toledo 1998a).

Asimismo, las cuencas hidrológicas del Golfo de México abarcan más de dos tercios de la masa continental del territorio mexicano vertiendo el 62% de la descarga fluvial del país. El 90% del gas natural y más del 80% de los hidrocarburos se generan en las ricas plataformas continentales de la región (Toledo 1998a). La producción de hidrocarburos del Golfo de México es superior a las 400 mil toneladas por día y existe un intenso tráfico de buques petroleros que movilizan más de 5 millones de barriles diarios, arrojando al mar aproximadamente 7 millones de barriles al año por el lavado de sus tanques (Botello *et al.* 1998).

Asimismo, el Golfo de México ha sido utilizado de manera intensa para el transporte marítimo y cuenta con 43 puertos que mueven 152,458,000 ton de carga (Rivera y Villalobos 2001), siendo los más importantes los puertos de Veracruz, Altamira, Coatzacoalcos y Progreso.

SOBREPESCA, CONTAMINACIÓN Y PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD EN EL GOLFO DE MÉXICO

La utilidad del enfoque integral de ecosistemas busca la identificación de las causas raíz de los problemas existentes y su vínculo con las actividades productivas que los generan. Algunos de los factores más relevantes que inciden directamente en el deterioro ambiental del Golfo de México son la pesca excesiva, las fuentes de contaminación y la pérdida de biodiversidad debido a la introducción de especies acuáticas invasivas.

SOBREPESCA

La condición de salud de las poblaciones sujetas a explotación pesquera tanto marinas como de aguas continentales, ha sido documentado ampliamente (Arreguín *et al.* 1999, Shipp 1999, Fernández *et al.* 2000, Rivera y Villalobos 2001, Alvarez *et al.* 2002, Hernández y Kempton 2003) quienes indican que las especies de peces, crustáceos y moluscos del Golfo de México de importancia comercial se encuentran sobreexplotadas, o en un estado de

deterioro severo. Esto es principalmente resultado del incremento del esfuerzo pesquero, de la sobrecapacidad de la pesca comercial (esfuerzo de pesca latente), y se traduce en una franca declinación de los recursos, así como los impactos de la pesca sobre especies no objetivo, comunidades bentónicas y fondos marinos (INP 1998 y 2001, SEMARNAP 2000).

La pesca industrial mexicana se concentra en la zona del Pacífico de México, en el Golfo de California; sin embargo, en el Golfo de México la flota industrializada más importante es la camarонера y se encuentra situada principalmente en Tamaulipas y Campeche. Por otro lado, las embarcaciones pequeñas y medianas de pesca artesanal se distribuyen ampliamente alrededor de todas las costas del país. Un poco menos de la mitad, (46%) de la flota de pesca artesanal se localiza en la costa del Golfo de México. Hay un crecimiento de la flota pesquera de 1,800 embarcaciones que se suman cada año a la flota, con lo cual el crecimiento acumulado para el período 1970-2001 es de 700% (SAGARPA 2002). El ingreso derivado de la pesca está distribuido de manera poco uniforme, y muestra una diferencia de cinco veces el promedio de ingreso entre los pescadores del Golfo de California y aquellos del Golfo de México (INEGI 2000).

Las tres pesquerías marinas comerciales o industriales más importantes del Golfo de México por el volumen de su captura en el año 2001 fueron el camarón (6,603 ton) pulpo (6,587 ton) y mero (6,312 ton), siendo estas pesquerías las más valiosas de la región del Golfo de México por el valor bruto de su captura; se trata de recursos marinos que hace más de 10 años (1991) alcanzaron una producción de 13,722 ton, 6,516 ton y 7,837 ton respectivamente. Para el caso del camarón dichas cifras representan una caída de más del 50%, debido quizás al incremento en el esfuerzo pesquero aplicado al recurso, que actualmente se realiza con 742 embarcaciones a lo largo de la costa de todo el Golfo de México, particularmente Tamaulipas-Veracruz, Campeche y Contoy (Caribe). Por su parte la pesca del pulpo se efectúa con 514 embarcaciones en la plataforma de Yucatán y Campeche, y el mero se pesca con 539 embarcaciones en la plataforma de Yucatán.

Las pesquerías artesanales de mayor importancia en el Golfo de México según las estadísticas pesqueras del 2001 fueron el pulpo, con 13,998 ton efectuada con 2,418 embarcaciones pequeñas, el tiburón que registró 8,308 ton y el camarón con 4,419 ton. Para los dos últimos no se dispone de registros del número de embarcaciones participantes en esta actividad. Al igual que en la pesca industrial, los niveles de captura para tiburón fueron de 12,094 ton y en camarón de 6,576 ton, mientras que la pesquería del pulpo

muestra un incremento en el esfuerzo de captura en 1991 registrando 8,815 ton y en 1996 12,503 ton.

CONTAMINACIÓN

El Golfo de México recibe las descargas de los principales ríos de Norteamérica; el país recibe el 60% de la descarga nacional de los ríos y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello *et al.* 1998). Prácticamente todas las poblaciones de las cuencas hidrológicas que vierten hacia el Golfo de México y ciudades costeras tan importantes como Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, Ciudad del Carmen y Campeche, descargan en sus aguas desechos domésticos sin ninguna clase de tratamiento previo. Las áreas densamente pobladas y distantes del altiplano utilizan a la región como sitio de descarga final. Por ello el Golfo de México muestra una acentuada y evidente contaminación bacteriológica, encontrándose desde el norte de Veracruz en la laguna de Tamiahua hasta la región sur del estado en el río Coatzacoalcos, en las lagunas del Carmen-Machona en Tabasco y en las lagunas de Términos, Balchacah, Puerto Rico así como en la Boca de Atasta en el estado de Campeche. Los análisis en sedimentos, organismos y en la red de agua potable de las principales localidades de la región muestran una alta y constante contaminación bacteriana del grupo coliformes totales y fecales en sitios cercanos a los centros urbanos, así como en áreas sin alta densidad poblacional (Wong y Barrera 1998).

Asimismo el fenómeno de hipoxia en el Golfo de México documentado por Rabalais *et al.* (1991y 1995) se presenta de manera repetida afectando grandes áreas de la zona norte del Golfo de México cercanas a la plataforma continental durante cada verano. Bajo dichas circunstancias se ha registrado la pérdida de diversidad de fauna macrobentónica y abundancia con bajas de oxígeno de 0.5 mg/L cercanas a condiciones de anoxia.

Por otra parte, se han registrado altos niveles de concentración de hidrocarburos (Botello *et al.* 1998) para el río Tuxpan, Puerto de Veracruz, laguna del Ostión y los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, en el estado de Veracruz; las lagunas El Carmen, La Machona y Mecoacán, en Tabasco; el sistema lagunar de Términos, en Campeche, y la Laguna de Bojórquez, en Quinta Roo. El 50% de los sistemas costeros estudiados rebasaron el límite permisible de 10 partes por billón (ppb) de hidrocarburos para aguas superficiales no contaminadas establecido por la UNESCO, detectando en la laguna de Términos 48 ppb. Los registros de hidrocarburos en mar abierto, tanto en el

golfo como en el Mar Caribe, rebasan de manera significativa el valor normativo de 10 ppb. Campeche tienen un promedio de 48 ppb; Veracruz 15.1 ppb y el Caribe 15 ppb. Las aguas del Golfo de México exceden el límite permisible de concentraciones para agua contaminada con respecto a la región del Gran Caribe. Estudios recientes señalan la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos tanto en sedimentos como en organismos (peces, moluscos y crustáceos), lo cual implica riesgos para la salud debido a la elevada toxicidad de estos compuestos y a su potencial carcinogénico (Botello y Ponce 1998). 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.* 1998).

Gold *et al.* (1999), reportan que las concentraciones total promedio de hidrocarburos en sedimentos para las lagunas de Santa Anita, Julivá, Tres Brazos, Carmen Machona, Mecoacán, Pom y Términos se encuentran por debajo del valor aceptado de 70 mg/g (peso seco), con excepción de la laguna de Julivá en la que hay pozos de petróleo. Esto indica que la presencia de petróleo en la región es obvia y aunque las concentraciones de hidrocarburos son relativamente bajas no deja de representar una preocupación su presencia en la mayor parte de las lagunas estudiadas.

PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

La pérdida de biodiversidad se debe a diversos factores, entre los que destaca la introducción de especies acuáticas exóticas que es uno de los riesgos ambientales más críticos a los que actualmente se enfrentan las especies, los hábitats acuáticos y la biodiversidad en general, con impactos serios en términos ecológicos y económicos. Desafortunadamente, los impactos de las introducciones varían con la geografía, el tiempo y las especies (Courtenay 1995). A esto se le puede agregar que la falta de registros de especies invasoras son consecuencia de la falta de datos biológicos, de sistemática y biogeográficos.

En la actualidad el transporte marítimo (agua de lastre de barcos) y la acuicultura están considerados como los vectores más importantes para la introducción de especies acuáticas invasoras, así como las introducciones intencionales de especies exóticas (algas, moluscos crustáceos, peces) con propósitos de producción en nuevas áreas o como introducciones accidentales (escapes). En ambos casos se puede presentar la transmisión y transferencia de especies asociadas, que incluyen enfermedades. De las especies

marinas cultivadas en México sólo dos son nativas varias de estas especies fueron sembradas intencionalmente bajo el auspicio de programas federales, mientras que algunas introducciones datan de hace más de cien años (e.g. carpas y truchas), otras especies fueron introducidas sólo recientemente (*Procambarus clarkii*, *Cherax quadricarinatus*) no obstante la existencia de diversos reportes sobre cierto número de virus, bacterias, hongos, proto-zoarios y metazoarios (Owens *et al.* 1992, Edgerton *et al.* 1994, Alvarez *et al.* 1998) que en algunos casos, como el de Ecuador ya han causado epizootias severas y la presencia de patógenos exóticos (Romero y Jiménez 2002). Debido al gran interés por esta especie particularmente en el estado de Veracruz y otros de la vertiente del Golfo de México, es conveniente que la autoridad ambiental verifique la situación actual sobre el cumplimiento de normas existentes en cuanto a su introducción, movilización y cultivo en apego a dichas normas, verificando si las granjas existentes cuentan con infraestructura adecuada y de seguridad, que eviten su dispersión y escape hacia los ecosistemas acuáticos del Golfo de México.

El movimiento de especies fuera de su zona de distribución natural con fines de cultivo, es un vector determinante en la diseminación de especies exóticas y en particular de agentes patógenos. En el Golfo de México existen 18 granjas y un total de 884 hectáreas dedicadas al cultivo de camarón marino del Pacífico *Litopenaeus vannamei*, que utilizan cientos de millones de organismos de camarón en cada ciclo de cultivo. En la vertiente del estado de Tamaulipas existen 13 granjas y 697 hectáreas de cultivo, en Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán existe un número modesto de granjas con un total aproximado de 190 hectáreas (Sagarpa 2002). Aunque hay laboratorios productores de larvas y poslarvas de camarón ubicados en las costas del Golfo de México, la camaronicultura en los estados del Golfo de México depende del suministro de poslarvas de camarón blanco del Pacífico, por lo cual es necesario extremar la vigilancia sobre las condiciones sanitarias de los camarones en las granjas de cultivo, para evitar los peligros de traslado de enfermedades y epizootias de esta especie a las especies del Golfo (Alvarez *et al.* 2000). Respecto a los patógenos que se introducen en aguas nacionales en el Golfo de México mediante la acuicultura, tenemos la rápida dispersión de la enfermedad del Síndrome de Taura, detectada por primera vez en Ecuador a mediados de 1992, y reportada un año después en Perú y Colombia y en 1994 en Honduras, Guatemala, El Salvador, EE.UU. (Hawái y Florida) y Brasil, registrándose en las costas de México a principios de 1995 (Alvarez *et al.* 1996). Ejemplo de su acción devastadora es el registro de producción de camarón por acuicultura

en el estado de Sinaloa que en 1996, debido a esta enfermedad, decreció en un 31.2% respecto a 1995 (Alvarez *et al.* 2000). Otros virus y patógenos han sido introducidos por la actividad acuícola como el virus de la mancha blanca. Las evidencias científicas disponibles en el mundo muestran la existencia y detección de al menos seis variantes del virus de la mancha blanca (WSSV) procedentes de seis regiones geográficas: China, India, Tailandia, Texas, Carolina del Sur y una última detectada en un Zoológico de los Estados Unidos de América, con los cuales Qiong *et al.* (1999) realizaron infecciones experimentales que determinan el grado de patogenicidad usando el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* y el camarón rosado del Golfo de México *Farfantepenaeus duorarum*. En este estudio experimental se registraron mortalidades rápidas acumuladas en el camarón blanco *L. vannamei* del 100% y en el camarón rosado *F. duorarum* del 35-60%; el virus de mancha blanca proveniente de Texas resultó ser el más virulento. Asimismo, los virus de la mancha blanca y de la cabeza amarilla han sido reportados desde 1995 en las granjas de cultivo del estado de Texas donde han causado altas mortalidades, lo cual ha sido confirmado mediante estudios de infectividad, microscopía de transmisión electrónica (TEM) y reacción en cadena de la polimerasa (PCR) realizados por Nunan *et al.* (1998). Esto muestra que otra posible vía de introducción de estas enfermedades virales a los Estados Unidos de América es a través de la importación de camarón congelado. Durante la Reunión del Programa Nacional de Sanidad Acuícola organizada por la entonces Dirección General de Acuicultura de la SEMARNAP en octubre de 1998, Garza y colaboradores de la Universidad de Tamaulipas reportaron la presencia del virus del Síndrome de Taura y del *Baculovirus penaei* en camarón blanco (*L. vannamei*) y camarón azul (*L. stylirostris*) del Pacífico en organismos que actualmente se cultivan en granjas del estado de Tamaulipas en el Golfo de México, así como en camarón blanco en las costas del Golfo de México. Los resultados del análisis efectuado en muestras de camarón colectadas desde diciembre de 1997 por el Instituto Nacional de la Pesca de la especie *L. vannamei*, cultivado en granjas del Golfo de México, muestran la presencia de anomalías y malformaciones debidas a agentes patógenos y alteraciones congénitas (Chávez *et al.* 2002). Incluso se ha registrado la presencia del virus IHNV procedente del litoral Pacífico en muestras de camarón blanco (*L. setiferus*), camarón café (*F. aztecus*) y camarón rosado (*F. duorarum*) del Golfo de México (Chávez *et al.* 2002).

La presencia de los virus exóticos de origen asiático causantes de los Síndromes de la mancha blanca y de la cabeza amarilla puede llegar a tener un

impacto devastador, debido a que los mecanismos de defensa de los camarones americanos no los reconocen. El Síndrome de la Mancha Blanca fue reportado por primera vez en 1992 en Taiwán y el noroeste de China. Durante 1994 y 1995 se extendió a Tailandia, India, Japón, Corea y posteriormente a Texas, U.S.A. motivo por el cual SEMARNAP publicó dos Normas Oficiales de Emergencia NOM-EM-001-PESC-1999 y NOM-EM-003-PESC-2000 (SEMARNAP 1999 y 2000a) para prevenir su introducción a México. El Departamento de Vida Silvestre y Recursos Naturales de Carolina del Sur, ha clasificado al virus causante de la Enfermedad de la Mancha Blanca en la Categoría I, i.e., como un patógeno de riesgo potencial de reinfección o amplificación de prevalencia en poblaciones silvestres infectadas a partir de brotes agudos en instalaciones camaronícolas, sin que hasta el momento existan tratamientos para su prevención y control. Se ha detectado la presencia de las enfermedades de la Cabeza Amarilla (YHV) y de la Mancha Blanca (WSSV) en granjas de Carolina del Sur e incluso en 1998 se detectaron casos positivos de Mancha Blanca en cultivos de *L. vannamei*, así como en organismos silvestres de *L. setiferus*. Más grave aún es el hecho de que Sandifer (1998) ha detectado el material genético del WSSV en muestras de otros crustáceos silvestres en la misma región, tales como el camarón *Palaemonetes sp.* y algunos cangrejos como *Uca spp.*, *Callinectes sapidus* y *Menippe mercenaria* (Alvarez *et al.* 2000) mostrando su enorme potencial de transmisión hacia otras especies de crustáceos nativos del Golfo de México.

Otras introducciones se deben a la industria del acuarismo (e.g. *Melanoides tuberculata*). Debido a su alta competitividad, la mayor parte de las especies exóticas se encuentran distribuidas en más de la mitad del territorio nacional. Otras amenazas concurrentes son la transfaunación de especies exóticas y nativas a distintas partes del país, la importación de variedades especiales resistentes a virus, que pueden haber sido portadoras de otras enfermedades, el cultivo de especies marinas en agua salobre o agua dulce (e.g. camarón), el cultivo de especies dulceacuícolas en agua salobre o marina (e.g. tilapia) y la dispersión natural, intencional o accidental de especies provenientes de otros países (e.g. langosta Australiana de agua dulce *Cherax*).

Finalmente, considerando que la acuicultura y el acuarismo son industrias millonarias, cada introducción de una nueva especie le debería costar al menos una pequeña fracción a estas industrias, incluyendo la investigación para determinar si las especies que se desea introducir son potencialmente invasivas (Mendoza 2001).

Procambarus clarkii es una especie nativa del centro y sur de los EE.UU. y del noreste de México. Se promovió la introducción de *P. clarkii* en varios estados de la República con el consecuente desplazamiento de las especies nativas, en parte debido a que es portadora de una enfermedad fúngica, causada por *Aphanomyces astaci*, la cual devastó a gran parte de los crustáceos dulceacuícolas europeos. En 1982, en la cuenca del río San Juan, la única especie registrada era la especie nativa *P. regiomontanus*. En 1985 se registraron tres machos y una hembra de *P. clarkii* coexistiendo con *P. regiomontanus*. De 1987 a 1989 *P. clarkii* aumentó de manera espectacular generando el colapso repentino de las poblaciones de *P. regiomontanus*. Algunas observaciones realizadas durante 1992 revelaron que *P. clarkii* representaba de 95 a 100% de los acociles presentes en la región. (Rodríguez-Almaráz y Campos 1994). Actualmente gracias a su propia capacidad de dispersión, así como a la introducción continua por el hombre, *P. clarkii* se encuentra presente en todos los estados del norte de México (Campos y Rodríguez-Almaráz 1992).

Los caracoles thiaridos (*Thiara granifera* y *Melanoides tuberculata*) capaces de reproducirse sexualmente y por partenogénesis y cuya dispersión se facilita por las aves migratorias se han establecido ampliamente a través de diferentes países del continente americano y desde hace algunos años se han expandido en el territorio nacional en 16 estados de la República, lo cual ha causado la disminución e inclusive la desaparición de diversas poblaciones de gasterópodos nativos (Contreras y Contreras 1999). Se han registrado colonizaciones a velocidades mayores de 1 km/año (Pointier, 1998) y en algunas regiones se han registrado densidades de hasta 51,650/m² que representan un grave peligro, ya que son hospederos intermediarios de tremátodos que han afectado al menos a 39 especies pertenecientes a 10 familias de peces en México (Scholz *et al.* 2003). Algunas de estas especies están en peligro de extinción, mientras otras son importantes en acuicultura o en la pesca deportiva. Sin embargo, el riesgo más grave consiste en que entre sus hospederos definitivos se encuentran ciertas aves e incluso el hombre.

HACIA EL MANEJO INTEGRADO DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DEL GOLFO DE MÉXICO

A escala global, existen 64 grandes ecosistemas marinos que producen la mayor parte del alimento mundial anual proveniente de la pesca. Estos son ecosistemas interconectados de mares y océanos desde la cuenca de los ríos

hasta las zonas costeras de lagunas y estuarios; plataforma continental, mares cerrados, semicerrados y las orillas de las corrientes marinas más importantes en su borde externo. En el Golfo de México ya se han presentado datos alarmantes sobre la situación de sobreexplotación de los recursos pesqueros y marinos, destrucción del hábitat, contaminación acelerada y el severo deterioro de los ecosistemas costeros y marinos.

Con ese escenario es necesario adoptar nuevos esquemas de manejo integrado para el orden de las actividades humanas en estos sistemas con el objeto de evitar mayores efectos económicos y sociales. Desde este punto de vista se ha utilizado una metodología de evaluación, consistente en cinco módulos, que tiene por objeto mover a los países que comparten un área geográfica dentro de un Gran Ecosistema Marino para adoptar aspectos de gobernabilidad práctica basados en el manejo integrado del ecosistema. Este enfoque se enlaza con los usuarios interesados, fomentando su participación, así como la de la comunidad académica y conlleva al desarrollo de instituciones de manejo adaptativo (Duda y Sherman 2002).

El concepto de enfoque de manejo integrado de ecosistemas busca asegurar la sustentabilidad intergeneracional de los bienes del ecosistema y los servicios del ecosistema o procesos incluyendo los ciclos de productividad y ciclos hidrológicos. Desde la perspectiva pesquera, se ha concluido que para mantener la producción pesquera se requiere mantener los ecosistemas que producen estos recursos. Este enfoque representa un cambio de paradigma, pasando de la visión de una sola especie o de enfoques temáticos sectoriales de corto plazo de uso general en la actualidad, hacia una visión más amplia de enfoque de manejo integrado del ecosistema que se mueve de forma espacial desde escalas pequeñas a las mayores y de las prácticas de manejo de corto plazo a las de largo plazo.

El enfoque de manejo integrado de ecosistemas reconoce las interconexiones entre los sistemas vivos y no vivos, así como con los humanos y los sistemas económicos y sociales, considerados como parte integral del ecosistema. Para ello se han realizado estudios específicos sobre las principales fuerzas que generan cambios en la producción de biomasa. Por ejemplo se han estudiado los cambios en la biodiversidad entre especies dominantes dentro de las comunidades de peces de un Gran Ecosistema Marino que son el resultado de una explotación excesiva, de cambios naturales del clima que suceden en el medio ambiente o por contaminación costera (Sherman 1999).

INTEGRACIÓN MODULAR DE LA INFORMACIÓN

El enfoque de cinco módulos para la evaluación y el manejo integral de un Gran Ecosistema Marino ha resultado ser de utilidad en diversos ecosistemas marinos. Estos procesos de integración modular son adaptados a las situaciones particulares de Análisis Diagnóstico Transfronterizo y Plan de Acción Estratégico para los grupos de países que comparten un Gran Ecosistema Marino y se basan en información y en la capacidad disponible. Estos procesos son críticos al integrar a la ciencia hacia el manejo de una manera práctica y para establecer los regímenes de gobierno adecuados para una situación particular. Los cinco módulos (productividad, recursos pesqueros y pesquerías, contaminación/salud del ecosistema, socioeconomía y gobernabilidad) se han adaptado para su uso en varios proyectos demostrativos de grandes ecosistemas marinos.

MÓDULO DE PRODUCTIVIDAD

Las escorrentías de los ríos que desembocan en el Golfo de México tanto en su parte norte correspondiente a los Estados Unidos de América como en la parte central y sur dentro de territorio de México, tienen una influencia marcada sobre la productividad, dinámica hidrográfica general del sistema y la variabilidad de las descargas hacia el Golfo de México. Sin embargo la influencia sumada de las descargas de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva Usumacinta es menor a la influencia del río Misisipi en la región entera del norte del Golfo de México (Rabalais *et al.* 1999), mientras que en la zona alta de la costa mexicana la descarga de los ríos Grande, Soto la Marina, Pánuco y Tuxpan tienen influencia en la hidrografía de la plataforma interna y provee de sedimentos también a las zonas externas de la región occidental del Golfo (Escobar-Briones y Soto 1997).

La productividad puede relacionarse con la capacidad de carga de un ecosistema para sostener los recursos pesqueros. Medir la productividad del ecosistema también puede servir como un indicador útil del crecimiento de un problema de eutrofización costera. En varios grandes ecosistemas marinos las excesivas cargas de nutrientes de las aguas costeras han sido relacionadas con los florecimientos de algas que han implicado la mortalidad masiva de recursos vivos, presencia emergente de patógenos (cólera, vibrio, marea roja, toxinas) y el crecimiento explosivo de especies no nativas.

El Gran Ecosistema Marino del Golfo de México es un importante centro de

biodiversidad marina, producción de alimento marino así como producción de petróleo y gas. Se distingue por la batimetría, hidrografía, productividad y trofodinámica, una productividad media anual de 300 g C/m²/año. La interacción de numerosos procesos como las mareas, surgencias, fuerza meteorológica, circulación regional, efectos topográficos, ríos y corrientes de circulación ciclónicas contribuyen a complicar el esfuerzo de entendimiento de los procesos que controlan la productividad primaria del Golfo de México. Sin embargo es posible generalizar algunos aspectos que definen dicha productividad. Existe un amplio espectro de productividad pasando por las condiciones eutróficas de los sistemas estuarinos y aguas costeras hasta las oligotróficas de las aguas profundas, de modo que la productividad de las aguas costeras es, de manera típica, notablemente variable (Lohrenz *et al.* 1999). Las preguntas sobre los factores que controlan la productividad primaria del Golfo de México son numerosas y es crítica la información sobre los mecanismos de aporte de nutrientes para la producción primaria para identificar los nutrientes limitantes de la producción en diferentes regiones y tiempos. Los efectos de los nutrientes deben ser examinados en el contexto de otras variables ambientales y ecológicas de importancia (luz, disponibilidad, pastoreo) que permita la predicción de respuestas del ecosistema a los cambios naturales y antropogénicos.

MÓDULO DE RECURSOS PESQUEROS Y PESQUERÍAS

Los cambios de la biodiversidad entre especies dominantes en una comunidad de peces de un gran ecosistema marino han resultado en: explotación excesiva, cambios ambientales naturales originados por el cambio climático o contaminación costera. Este módulo incluye evaluaciones de pesquerías independientes, de arrastre de fondo; acústicas para las especies pelágicas y para la obtención de series de tiempo y para analizar los cambios de la biodiversidad de peces, así como los niveles de abundancia. Lo anterior puede ser evaluado en tiempo real.

A pesar de su bajo nivel de productividad primaria el Golfo de México, sostiene uno de los reservorios globales más importantes de biodiversidad y de biomasa de peces, aves marinas y mamíferos marinos. Sin embargo, dicha productividad está en riesgo por la sobrepesca, presentando la pesca evidencias de sobre capitalización y de cambios hacia niveles tróficos que generan cambios en la estructura de las cadenas tróficas, lo cual resulta en serias pérdidas económicas.

MÓDULO DE CONTAMINACIÓN Y SALUD DEL ECOSISTEMA

La contaminación ha sido una de las razones principales de los cambios de biomasa y producción. La salud del ecosistema es un concepto de amplio interés cuya definición científica es problemática. Para ser saludable y sustentable, un ecosistema debe mantener su nivel de actividad metabólica, así como su estructura interna y organización, y debe resistir el estrés externo con el tiempo y las escalas de espacio relevantes al ecosistema. Las estrategias de muestreo del ecosistema se enfocan hacia parámetros relacionados con la sobreexplotación, protección de especies por medio de la autoridad y la legislación, así como por otros factores biológicos y componentes físicos en la parte más baja de la cadena alimenticia.

El substrato geológico del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México contiene ricos depósitos de petróleo y gas, pero este beneficio trae consigo la amenaza de la contaminación. Por otro lado, la belleza natural de la región costera también ha permitido el desarrollo de una importante industria del turismo en gran parte del Golfo. Esta industria también se ve amenazada por las actividades antropogénicas, como la extracción de petróleo y el incremento de la urbanización.

En este módulo de contaminación y salud del ecosistema se utilizan peces, invertebrados bentónicos y otros indicadores de especies biológicas para medir los efectos de la contaminación sobre el ecosistema; el examen patológico de los peces, y el monitoreo de los contaminantes y sus efectos en los estuarios y zonas aledañas, así como en la columna de agua, el sustrato y grupos selectos de organismos. La implementación de protocolos para evaluar la frecuencia y efecto de los florecimientos de algas dañinas, enfermedades emergentes y otros múltiples problemas se incluyen en este módulo. Finalmente, el Golfo de México representa una oportunidad importante para monitorear el cambio climático en relación con las corrientes ciclónicas y la advección de nutrientes y transporte desde los efluentes de los ríos que desembocan en el Golfo de México.

MÓDULO SOCIOECONÓMICO

Este módulo se caracteriza por dar un mayor énfasis a la aplicación práctica de las evidencias científicas para el manejo de un gran ecosistema marino y para la integración explícita de análisis económico con evaluaciones basadas en la ciencia para asegurar que las medidas de manejo en perspectiva sean a un costo razonable. Los analistas de la economía y de la política

deben trabajar de manera conjunta con los ecólogos y otros científicos en la identificación y evaluación de opciones de manejo que sean tanto científicamente creíbles como económicamente prácticas en relación con el uso de los bienes y servicios del ecosistema.

El impacto de las actividades humanas, es el punto de inicio natural para caracterizar las formas en las que afectan el ecosistema y la sensibilidad esperada de estas funciones de fuerza sobre los tipos y niveles de actividad humana. La dinámica del crecimiento poblacional, el desarrollo costero y las prácticas de uso de suelo en las cuencas son claros ejemplos. Se requiere de un trabajo integral entre expertos de la ciencias naturales y sociales que permita distinguir los efectos aparentes como la eutrofización asociada a eventos de marea roja o cambios en las estructuras de las poblaciones de peces, que son confundidos por ciclos o dinámicas complejas en el sistema natural por sí mismo. Además, hay necesidad de separar de manera clara y de cuantificar algunas actividades que tienen efectos sobre el sistema natural como la descarga de aguas municipales, desechos agrícolas y el esfuerzo pesquero. Asimismo, es necesario evaluar los impactos y predecir los efectos económicos que se derivan de la degradación no controlada en los sistemas naturales, así como mostrar las bondades y beneficios del manejo integrado. El análisis inicial debe centrarse en aquellos sectores sociales y económicos que resentirán los mayores efectos, como la pesca, acuicultura, salud pública, recreación y turismo.

En términos de los servicios del ecosistema, también debe realizarse una evaluación y consideración especial sobre cómo los sistemas naturales generan valores económicos. Muchos de estos servicios y valores ambientales de los sistemas naturales no se comercializan en los mercados o no se incluyen en dichas evaluaciones, por lo que no deben ignorarse. Finalmente, es necesario evaluar los resultados antes citados, con la caracterización científica del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, en un marco de trabajo integral y analítico que permita la evaluación cabal de las prácticas humanas, efectos y opciones de manejo en la región. Esto es una forma de trabajo novedosa de la investigación reciente sobre la dimensión humana del cambio ambiental global y sobre las interacciones humanas con los sistemas marinos naturales.

MÓDULO DE GOBERNABILIDAD

Derivado de la participación de México en las Cumbre de la Tierra de Río de

Janeiro en 1992 y en la más reciente Cumbre Mundial de Desarrollo Sustentable de Johannesburgo en 2002, existen acciones específicas para cumplir el mandato de restauración de las poblaciones marinas sobreexplotadas hasta alcanzar niveles de máximo rendimiento sostenible, así como del uso del enfoque de ecosistema y de cómo incrementar y orientar las áreas marinas protegidas actuales mientras que se establece e implementa un mecanismo de restauración para las mismas.

Este módulo se basa en experiencias realizadas en varios grandes ecosistemas marinos para su manejo integral, para lo que se han alcanzado diversos acuerdos entre los Ministerios de Pesca, Medio Ambiente, Energía, Minería, Economía, Hacienda y Relaciones Exteriores, entre otros, de los países que circundan un gran ecosistema marino para iniciar la evaluación conjunta de recursos y de las actividades de manejo como parte de la construcción de instituciones. Para ello es necesario explorar los perfiles de gobernabilidad de los grandes ecosistemas marinos para determinar su utilidad y promover la sustentabilidad de los recursos de los ecosistemas a largo plazo.

APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE GRANDES ECOSISTEMAS MARINOS

De manera creciente México, Cuba y los Estados Unidos de América se han dado cuenta de las amenazas y riesgos y de los temas asociados al manejo del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, en donde destaca el deterioro de las áreas costeras adyacentes a los centros urbanos de la región como resultado de la contaminación, la pérdida de hábitat y la explotación no sostenible de los recursos marinos y naturales costeros.

Como ya se mencionó a lo largo de este capítulo, en México los aspectos de mayor relevancia se refieren a la sobreexplotación tanto por el sector industrial como por el artesanal de la pesca, en ausencia de acciones regionales de largo plazo acordadas que permitan compartir la extracción sustentable. Entre las consecuencias más relevantes se encuentran el incremento de los florecimientos de algas, eventos de bajas de oxígeno, derrames de petróleo, choques de embarcaciones sobre delicados arrecifes de coral, exploración petrolera continua y producción de contaminación en la costa y fuera de ella con el respectivo riesgo de contaminación que amenaza a la biodiversidad costera y marina. Un incremento aparente en la frecuencia de cambios ambientales marcados en el ecosistema se manifiesta mediante fluctuaciones en la distribución y abundancia de peces, aves y mamíferos; en

una cuenca que es altamente vulnerable a eventos de tormentas y condiciones de clima fluctuantes. Esto trae serios problemas que requieren de diferentes niveles de manejo en las áreas de la costa y marinas del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México.

El marco de trabajo modular de los grandes ecosistemas marinos está diseñado para vincular las evaluaciones científicas con los estados de cambio de los ecosistemas costeros, con el objetivo de apoyar la sustentabilidad de largo plazo y la calidad ambiental. Estos esfuerzos están dirigidos a la integración intrasectorial de la productividad costera, pesca, contaminación y salud del ecosistema, en relación con los beneficios socioeconómicos y regímenes de gobierno. La aplicación de estas evaluaciones en el ámbito del ecosistema y su manejo se apoya en parte, por los recursos del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) en colaboración con los gobiernos nacionales de los países participantes que se encuentran en los límites de alguno de los grandes ecosistemas marinos en Asia, Africa, América Central y América del Sur, así como en Europa del Este.

La estrategia operacional del GEF invita a desarrollar e implementar proyectos en el Programa de aguas internacionales, que puede alcanzar beneficios globales mediante la implementación por parte de los países de enfoques más estructurados para reestablecer y proteger el medio de las aguas internacionales. La meta del programa de Aguas Internacionales (IW) es apoyar a los países para hacer los cambios pertinentes respecto a las actividades humanas realizadas por diversos sectores de tal forma que un cuerpo de agua en particular y las múltiples cuencas de cada país puedan sostenerlas de manera sustentable. El GEF ha puesto especial prioridad en cambiar las políticas sectoriales y actividades responsables de las causas raíz más importantes y serias acerca de las preocupaciones transfronterizas ambientales, determinando las acciones de línea de base y acciones adicionales necesarias para cambiar las políticas sectoriales o actividades y encontrar inversiones de base, de tal suerte que el GEF pueda financiar los costos incrementales acordados de las medidas adicionales. Una de las áreas centrales del financiamiento del GEF está orientada a mitigar los factores de estrés sobre los Grandes ecosistemas marinos (GEM) y promover acciones prioritarias para mejorar la calidad ambiental y el desarrollo sustentable de los recursos dentro de un GEM que son importantes para el crecimiento económico y la seguridad alimentaria de los países en desarrollo de Asia, África, América Central y del Sur y del Este de Europa (Duda y Sherman 2002).

Con base en lo antes expuesto; México, Estados Unidos de América y

Cuba sometieron un proyecto al GEF en el 2000 para el Manejo Integral del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, que fue aprobado en su primera fase (2002) denominada PDF-B (Project Development Fund). Esta fase deberá desarrollar un Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT-TDA) que fundamentará un Plan de Acción Estratégico (PAE-SAP), mismo que serán la base de un Proyecto de Gran Ecosistema Marino con una duración de cinco años, durante los cuales es factible realizar la multicitada integración modular, haciendo uso del gran cúmulo de información existente sobre este ecosistema, vinculando cada uno de sus componentes con el objeto de lograr su manejo integral y sustentable.

CONCLUSIONES

En los estados costeros vive el 12% de su población y por lo menos uno de cada cinco mexicanos dependerá directa o indirectamente de los recursos del Golfo de México hacia la mitad del siglo XXI. Si México logra articular en los próximos años un proyecto social sustentable, una alta proporción del capital natural requerido para alcanzar sus metas se encontrará en el Golfo de México. Sin embargo, uno de los elementos más críticos en esta ruta probablemente sea la profunda contradicción que existe entre la velocidad de las perturbaciones de las actividades humanas y la lentitud para controlar y reaccionar ante los cambios. El desafío es mayor cuando nos enfrentamos ante un ecosistema altamente interconectado, frágil y vulnerable. Asimismo, no podemos ignorar los contradictorios intereses políticos, comerciales y otros con respecto a los recursos marinos y costeros del Golfo de México. Dichos aspectos ponen a la vista los problemas vinculados con el deterioro de la calidad ambiental del Golfo de México. De ahí la importancia de que, desde una visión integral, se emprendan acciones locales, nacionales y regionales que lleven a soluciones conjuntas para el manejo integral del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Torres, P.A. Díaz-de-León-Corral, O. Ramírez-Flores y E. Bermúdez-Rodríguez 2002. National Fisheries Chart: a new instrument for fisheries management in inland waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 317-326.
- Alvarez, T.P., Hernández, M.M., Díaz, L.C., Romero, B.E. y F.L. Lyle 2000. Cultivo de

- Camarón. En: Alvarez, T.P., Ramírez, M., Torres, L.M. y A. Díaz-de-León (eds.). *Estado de Salud de la acuicultura, 2000*. Cap. XVI, 68 p. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 506 pp.
- Alvarez, T.P., Hernández, M.M y L. Astudillo 1998. Análisis de los aspectos patológicos mas relevantes de la langosta australiana de agua dulce del genero *Cherax*. Instituto Nacional de la Pesca, Dirección General de Investigación en Acuicultura. 15 pp.
- Álvarez, T.P., Hernández, M. y C. Díaz 1996. Research Guidelines on Diseases of the Cultured Shrimp in Mexico. En: NOAA. *Integrated assessment of shrimp pathogens: a Workshop*. NOAA, NMFS, USDA, CSREES, EPA. New Orleans, Louisiana. GSMFC 57- C-14.
- Arreguín, F., Sanchez, J., Flores, H.D., Ramos, M.J., Sanchez, G.P. y A. Arancibia 1999. Stock-Recruitment Relationships: A scientific Challenge to Support Fisheries Management in the Campeche Bank, Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 225-235.
- Botello, A.V., J.L. Rojas, J.A. Benítez y D. Zárate (eds.) 1998. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Univ. Autón. Campeche, Campeche. EPOMEX, Ser. Cient. 5, México.
- Botello, A.V. y G. Ponce 1998. El petróleo. En: Al rescate del Golfo de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf5.html>
- Campos, E. y G. Rodríguez-Almaráz 1992. Distribution of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) in Mexico: An update. *J. Crustacean Biol.* 12(4)627-630.
- Chávez-Sánchez, M.C., Hernández-Martínez, M., Abad-Rosales, S., Fajer-Avila, E., Montoya-Rodríguez, L. y P. Álvarez-Torres 2002. Prevalence, Severity and Geographic Distribution of Infectious Diseases in Four Species of Wild and Cultured Penaeid Shrimp from the Gulf of Mexico. *Journal of the World Aquaculture Society* 33(3): 316-329.
- Contreras S. y M. Escalante 1984. Distribution and Known Impacts of Exotic Fishes in Mexico. En: W.R. Courtney y J.R. Stauffer (eds.). *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*. John Hopkins University Press. Pp. 102-130.
- Contreras-Arquieta, A. y S. Contreras-Balderas 1999. Description, biology and ecological impact of the screw snail *Thiara tuberculata* (Müller, 1774) (Gasteropoda: Thiaridae) in Mexico. En: R. Claudi y J.H. Leach (eds.). *Non-indigenous freshwater organisms: vectors, biology and impacts*. Lewis Publishers, Boca Raton, EE.UU. Pp 151-160.
- Courtenay W.R. 1995. The case for caution with fish introductions. Pages 413-424. En: H.L. Schramm y R.G. Piper (eds.). *Uses and effects of cultured fishes in aquatic ecosystems*. American Fisheries Society Symposium 15. American Fisheries Society,

- Bethesda, MD.
- Díaz de León, A. J. y J. C. Seijo 1992. A Multi-Criteria Non-Linear Optimization Model for the Control and Management of a Tropical Fishery. *Marine Resource Economics* 7: 23-40.
- Duda, A. M. y K. Sherman 2002. A new imperative for improving management of large marine ecosystems. *Ocean & Coastal management* 45: 797-833.
- Edgerton, B.F.L. Owens, A. Harris, A. Thomas y M. Wingfield 1995. A health survey of farmed redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens), in tropical Australia. Freshwater-Crayfish-Tenth-International-Symposium-of-Astacology. Louisiana. Pp. 322-338
- Escobar, Briones E. y Soto, L.A. 1997. Continental shelf benthonic biomass in the western Gulf of Mexico. *Continental Shelf Res.* 17(6): 585-604.
- FAO 1995. *Código de Conducta para la Pesca Responsable. Organización para la Agricultura y la Alimentación.* FAO, Roma.
- Fernández, J.I, L. Schultz, A. Wakida, M. Medellín, M. Sandoval, G. Nuñez, J. Uribe, R. Castro, A. González, M. González, J. Santos, G. Marcet, F. Aguilar, B. Delgado, B. Chale 2000. Camarón Golfo de México y Mar Caribe. En: INP. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo 1999-2000.* Instituto Nacional de Pesca. México.
- Gold, B.G., Zapata, P.O., Noreña, B.E., Herrera, R.M, Ceja, M.V. y C.M. Zavala 1999. Oil Pollution in the Southern Gulf of Mexico. In Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management.* Blackwell Science. Inc. Pp. 372-382.
- Hernandez, A. y W. Kempton 2003 Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public Participation. *Ocean & Coastal Management* 46: 507-526.
- INEGI 2000. *Tabulados básicos nacionales.* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INP 1998 *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1997-1998.* Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, México.
- 2001. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000.* SAGARPA, Instituto Nacional de la Pesca. México.
- Lohrenz, S.E., Fahnenstiel, G.L. Redalje, D.G., Lang, G.A., Daga, M.J., Whiteledge, T.E., y Q. Dortch 1999. The interplay of nutrients, irradiance and mixing as factors regulating primary production in coastal waters impacted by the Mississippi River plume. *Cont. Shelf Res* 19: 1113-1141.
- Mendoza, R. 2001. Examples from Aquaculture in Mexico. En: Preventing the Introduction and Spread of Aquatic Invasive Species in North America. North American Commission for Environmental Cooperation (CEC). Workshop

- Proceedings, 28–30 March 2001
- Miller, R. R., J. D. Williams y J. E. Williams 1989. Extinctions of North American fishes during the past century. *Fisheries* 14(6): 22-38.
- Nunan, L.M., B.T. Poulos y D.V. Lightner 1998. The detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) and Yellow Head Virus (YHV) in imported commodity shrimp. *Aquaculture* 160:19-30.
- Owens, L., P. Muir, D. Sutton y M. Wingfield 1992. The pathology of microbial diseases in tropical Australian Crustacea. Diseases in Asian Aquaculture I. Proceeding of the First Symposium in Diseases in Asian Aquaculture. November 1990. Asian Fisheries Society. Pp. 165-172.
- Pointer, J.P., Samadi, S., Jarne, P. y B. Delay 1998. Introduction and spread of *Thiara granifera* (Lamarck, 1822) into Martinique island, French West Indies. *Biodiversity and Conservation* 7: 1277-1290.
- Qiong, W., White, L.B., Redman y V.D. Lightner 1999. Per os challenge of *Litopenaeus vannamei* postlarvae and *Farfantepenaeus duorarum* juveniles with six geographic isolates of white spot syndrome virus. *Aquaculture* 170:179-194.
- Rabalais, N.N., Turner, R. E. Wiseman W. J., Jr y D. E. Boesch 1991. A brief summary of hypoxia on the northern gulf of Mexico continental shelf: 1985-1988. En: R. V. Tyson y T.H. Pearson (eds.). *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. Geological Survey Special Publication No. 58. The Geological Society, Londres.
- Rabalais, N.N., Smith, L.E., Harper, D.E.. Jr. y D. Justic 1995. Effects of Bottom water Hypoxia on Benthic Communities of the Southeastern Louisiana Continental Shelf. OCS Study/MMS 94-0054. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana.
- Rabalais, N.N., Carney, R.S. y B.E. Escobar 1999. Overview of Continental Shelf Benthic Communities of the Gulf of Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 171-195.
- Rivera, A.E. y G. Villalobos 2001. The coast of Mexico: approaches for its management. *Ocean and Coastal Management* 44: 729-756.
- Rodríguez-Almaraz, G. y E. Campos. 1994. Distribution and status of the crayfishes (Cambaridae) of Nuevo Leon, Mexico. *J. Crustacean Biol.* 14(4): 729-735.
- Romero, X. y R. Jiménez 2002. Histopathological survey of diseases and pathogens present in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens), cultured in Ecuador. *Journal of Fish Diseases* 25(12): 737-742.
- SAGARPA 2002. *Anuario estadístico de Pesca 2001*. CONAPESCA/SAGARPA, México.
- Sandifer, P. 1998. Shrimp Virus Risk Management. Development of South Carolina Department of Natural Resources Regulatory Policies. Shrimp Virus Management

Workshop Proceedings. New Orleans, Louisiana.

- SEMARNAP 1999. NOM-EM-001-PESC-1999, Que establece los requisitos y medias para prevenir y controlar la introducción y dispersión de las enfermedades virales denominadas Mancha Blanca "White Spot Baculo Virus" (WSBV) y Cabeza Amarilla "Yellow Head Virus" (YHV). *Diario Oficial de la Federación* 19 de marzo de 1999. México.
- 2000 Carta Nacional Pesquera 2000. *Diario Oficial de la Federación*, 17 de agosto. México.
- 2000a. NOM-EM-003-PESC-2000, Que establece los requisitos para determinar la presencia de enfermedades virales de crustáceos acuáticos vivos, muertos, sus productos o subproductos en cualquier presentación y artemia (*Artemia* spp.), para su introducción al territorio nacional y movilización en el mismo. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de abril del 2000. México.
- Sherman, K. 1999. Modular approach to the Monitoring and Assessment of Large Marine Ecosystems. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 34-63.
- Shipp, R.L. 1999. Status of Exploited Fish Species in the Gulf of Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 196-204.
- Scholz, T., M.L. Aguirre-Macedo y G. Salgado-Maldonado 2003. Trematodes of the family Heterophyidae (Digenea) in Mexico: a review of species and new host and geographical records. *Journal of Natural History* 35(12):1733-1772.
- Toledo, A. 1998. Economía de la biodiversidad. PNUMA, Of. Reg. América Latina y el Caribe, Ser. Textos Bás. Form. Ambient., México, D.F. 273 pp.
- 1998a. Un Patrimonio Natural Irreemplazable. En: Al rescate del Golfo de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf5>.
- UNCLOS 1982. The Law of the Sea. Official Text of the United Nations Convention on the Law of the Sea with Index and Final Act of the Third United Nations Conference on the Law of the Sea. United Nations, New York.
- Wong, I. y Barrera, G. 1998. La contaminación microbiológica. En: Al rescate del Golfo de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf5>.

LA NORMATIVIDAD DE LAS ZONAS COSTERAS Y MARINAS

Aquilino Vázquez García

INTRODUCCIÓN

Nuestro país enfrenta en el plano ambiental, el compromiso más exigente de su historia en cuanto a la regulación y protección de su diversidad biológica tanto en los ambientes terrestres como en los costeros y marinos. Por ello, el gobierno mexicano se ha esforzado en crear y mantener actualizado el marco jurídico aplicable al ambiente y a sus recursos naturales.

En relación con los ambientes costeros y marinos, estos constituyen un complejo y diversificado conjunto de ecosistemas terrestres y acuáticos, que incluyen los mares, lagunas costeras, la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT), así como las playas y terrenos ganados al mar; los cuales son de gran importancia dada la influencia que ejercen sobre las variables sociales, económicas, ecológicas, e incluso, en lo que respecta a la política exterior de nuestro país.

Como referencia podemos mencionar que México cuenta con una enorme riqueza en sus ecosistemas marinos: 11,000 km. de litoral (figura 1), 500,000 km² de plataforma continental, 16,000 km² de hectáreas de superficie estuárica y cerca de 12,500 km² de lagunas costeras, los cuales brindan a nuestro país una riqueza biológica integrada por aproximadamente 300 especies potencialmente explotables, 25 especies comercialmente explotadas y un número estimado de 33 especies ícticas exóticas, con lo cual el país

obtiene un volumen de pesca estimado en 1.3 millones de toneladas anuales, siendo este un capital ambiental potencial superior a la de muchas naciones (INE 1996).

FIGURA 1: ZONAS COSTERAS MEXICANAS



Fuente: INE 2002.

A la par de las transformaciones económicas y sociales que se han presentado en nuestro país, también se han registrado significativos grados de alteración de sus ecosistemas costeros y marinos, por lo cual la Administración Pública Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ha orientado sus acciones a atender los más grandes desequilibrios de nuestro entorno, llevando a cabo acciones como la creación e integración de áreas naturales protegidas, además de la aplicación de los distintos instrumentos legales aplicables a las zonas costeras y marinas, tales como leyes, reglamentos y programas sectoriales.

El presente capítulo tiene por objeto hacer una exposición del régimen jurídico aplicable a los ambientes costeros y marinos, analizando la concurrencia de diversos ordenamientos en la materia, los cuales regulan temas como las aguas, los bosques, la vida silvestre, la pesca, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar, entre otros. De igual manera, se analiza la vinculación de la norma jurídica con los aspectos técnicos y ecológicos que constituyen el sustento de la misma.

Hablar de la normatividad aplicable a las zonas costeras y marinas y su interrelación con la diversidad biológica, implica la realización de un análisis de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y las leyes en cada una de las materias en las que se sustenta, desde el punto de vista jurídico, la conservación y en su caso, restauración de estos ecosistemas.

Considero pertinente mencionar, que merece suprema atención el hecho de que el sistema jurídico mexicano debe ser actualizado y sistematizado para subsanar los vacíos normativos que impiden la adecuada protección, conservación y manejo de los recursos naturales en las zonas costeras y marinas. A partir de dicha actualización, debe definirse un cuadro normativo de cooperación intersecretarial, para que en conjunto, y de acuerdo con sus respectivas atribuciones y competencias, intervengan para prevenir, controlar, vigilar y abatir la contaminación del medio marino y preservar y restaurar el equilibrio ecológico de sus ecosistemas.

LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

En este apartado, se hará una revisión del marco constitucional para la regulación de los ambientes marino y costero, analizando para tal efecto los contenidos de los artículos 27, 42, 48, 73, 2 y 4.

ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL

El principio de la conservación de los recursos naturales en general, se incorpora en la Constitución Política de 1917 como resultado de los profundos cambios con respecto a la Carta de 1857 en cuanto a las ideas sobre la función social de la propiedad privada. El sistema de propiedad establecido en la Constitución Política de 1917 descansa en la premisa de que la propiedad de las tierras y las aguas pertenece originariamente a la Nación, la cual tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a particulares, constitu-

yendo la propiedad privada, pero conservando el dominio de las mismas, así como el de revertir dicho dominio a través del derecho de expropiación que establece el artículo 27 Constitucional.

De igual forma, quedó asentado en el artículo 27 constitucional, que la Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que requiera el interés público, por lo que en nuestra Constitución quedó explícita la función social de la propiedad privada. Es importante resaltar que, en este punto, nuestra Carta Magna se anticipó a las Constituciones de muchos otros países.

Los párrafos tercero y cuarto de este artículo otorgan a la Nación el dominio inalienable e imprescriptible de todos los recursos naturales del suelo, el subsuelo, la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas, los mares territoriales y patrimoniales, los ríos y lagos, las lagunas y los esteros y en general, la propiedad originaria de todas las tierras y aguas en su espacio geográfico y legal. Una conclusión inmediata de este párrafo es la obligación y el derecho que la Nación tiene de legislar y regular sobre el uso y la protección de dichos recursos.

Otras ideas del párrafo tercero del artículo 27 constitucional están ligadas a las anteriores, por ejemplo, la disposición en virtud de la cual la Nación tendrá en todo tiempo el derecho de regular el aprovechamiento de los recursos naturales susceptibles de apropiación, en beneficio social, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y cuidar de su conservación.

En este sentido, este párrafo se traduce en el derecho de la Nación para asegurar la conservación de los recursos naturales y consagra la función social de la propiedad privada, pues queda claro que los atributos propios del dominio pueden ser limitados por razones de interés público. La importancia ambiental de este principio es evidente, pues de él depende la potestad del Estado para exigir la limitación de ciertos atributos de la propiedad privada.

Siguiendo el postulado del mencionado párrafo tercero del artículo 27 constitucional, el Estado en su calidad de garante de la conservación de los recursos naturales tiene la potestad de *«...que con ese objeto se dictarán las medidas necesarias para... evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad»*.

Es evidente que las ideas del párrafo tercero de este artículo sobre la distribución equitativa de los recursos naturales y su conservación están vinculadas entre sí, pues con frecuencia, la inequidad en su distribución repercute en el deterioro o la sobreexplotación de dichos recursos.

Por otra parte, la idea de «conservación de los recursos», no se opone al «aprovechamiento de dichos recursos», pues lo que se consagra en la Constitución es el derecho de la Nación de regular dicho aprovechamiento en beneficio social.

En este orden de ideas, queda implícito que en nuestra Nación, los recursos naturales deben ser utilizados racionalmente, esto es, de tal modo que se permita su conservación, hecho que puede deducirse del mismo párrafo tercero que impone al Estado el deber de adoptar las medidas necesarias para evitar la destrucción de los recursos naturales.

En lo que se refiere a los hidrocarburos, el régimen jurídico de éstos lo establece el propio artículo 27 Constitucional, disponiendo que corresponde a la Nación el dominio directo del «petróleo y de los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos..», agregando que “*no se otorgarán concesiones ni contratos, ni subsistirán los que, en su caso, se hayan otorgado y la Nación llevará a cabo la explotación de esos productos, en los términos que señale la ley reglamentaria respectiva*”.

De acuerdo con el artículo 8° de la Ley Reglamentaria en el Ramo del Petróleo, el Ejecutivo Federal se encuentra facultado para establecer zonas de reservas petroleras en terrenos que por sus posibilidades petrolíferas así lo ameriten, con la finalidad de garantizar el abastecimiento futuro del país. La incorporación de terreno a las reservas y su desincorporación de las mismas, deben ser hechas por decreto presidencial, fundado en los dictámenes técnicos respectivos.

En lo relativo a la protección del ambiente, respecto de los efectos de las actividades petroleras, hay que decir que esta cuestión debe analizarse a partir de lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley Reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo, que establece lo siguiente: «*La industria petrolera es de utilidad pública, preferente sobre cualquier aprovechamiento de la superficie y del subsuelo de los terrenos, incluso sobre la tenencia de ejidos y comunidades y procederá la ocupación provisional, la definitiva o la expropiación de los mismos, mediante la indemnización legal, en todos los casos en que lo requiera la Nación o su industria petrolera*».

Por lo anterior se desprende que las disposiciones de la ley y su reglamento tutelan la protección del recurso petrolero, quedando sujeta dicha actividad a observar los criterios de sustentabilidad de los recursos naturales, así como los de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que establece la legislación ambiental.

De este artículo se desprende, además de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales que regula

todo lo relativo al uso y protección de las aguas en el territorio nacional, incluyendo diversos aspectos relativos a su posible contaminación, la Ley General de Vida Silvestre que regula la conservación y aprovechamiento de la flora y fauna silvestres y la Ley General del Desarrollo Forestal Sustentable, tienen por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, incluyéndose los litorales de zonas marítimas.

ARTÍCULOS 42 Y 48 CONSTITUCIONALES

A efecto de ubicarnos en el tema de las zonas costeras y marinas, es menester conocer lo que abarca el territorio nacional en donde el Estado mexicano ejerce derechos de soberanía y jurisdicción en los términos del artículo 42 constitucional:

- I. El de las partes integrantes de la Federación;
- II. El de las islas, incluyendo los arrecifes y cayos en los mares adyacentes;
- III. El de las islas de Guadalupe y las de Revillagigedo, situadas en el Océano Pacífico;
- IV. La plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas, cayos y arrecifes;
- V. Las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional, y las marítimas interiores;
- VI. El espacio situado sobre el territorio nacional, con la extensión y modalidades que establezca el propio Derecho Internacional.

Aunado a lo anterior, el artículo 48 constitucional establece que dependerán directamente del gobierno de la Federación las islas, los cayos y arrecifes de los mares adyacentes que pertenezcan al territorio nacional, la plataforma continental, los zócalos submarinos de las islas, de los cayos y arrecifes, los mares territoriales, las aguas marítimas interiores y el espacio situado sobre el territorio nacional, con excepción de aquellas islas sobre las que hasta la fecha hayan ejercido jurisdicción los estados.

ARTÍCULO 73 CONSTITUCIONAL

En 1971, se incorporó por primera vez a la Constitución Política de nuestro país la idea de la prevención y control de la contaminación. Por lo mismo, es

también la primera vez que se considera en ella el concepto de contaminación ambiental, o sea, la presencia en el ambiente de una o más sustancias ajenas a él, cuyas concentraciones exceden a las naturales, o bien, que lo degradan, ya sea en su conjunto o a cualquiera de sus elementos. Es evidente que este concepto es de importancia primordial en la protección del ambiente, puesto que, si no se realizan actividades de prevención y control de la contaminación, es imposible lograr dicha protección.

Aunque la protección ambiental llega más allá del control y prevención de la contaminación, pues incluye la protección de los recursos naturales y su aprovechamiento racional, cuando este concepto se introdujo en nuestra Carta Magna, predominaba la percepción de que el mayor peligro para el ambiente - quizás el único - tenía que ver con los efectos nocivos derivados de la contaminación, proveniente de los países industrializados en los cuales ese era el mayor problema ambiental. Para permitir la actuación del Estado en estos asuntos, se reformó la Constitución en su artículo 73 y, posteriormente, se emitió la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación (D.O.F. 31 de marzo de 1971), cuyo Capítulo Tercero estuvo dedicado a la *“Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas”*.

La reforma de 1971 fue insuficiente para proteger el ambiente, puesto que no le proporcionó a la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (LFCCA) el sólido fundamento constitucional que requería, pues dicha ley no debería ser sólo un ordenamiento jurídico en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud humana, o sea, en relación con la «salubridad general», sino que, más allá de esto, debería tratar la protección del ambiente. Por tanto, la materia a la que se debería haber dado sustento constitucional era la protección del ambiente en general, la cual no podía ser un asunto de competencia exclusivamente federal, ni sólo del sector salud.

Posteriormente, se expidió la Ley Federal de Protección al Ambiente (DOF 11 de enero de 1982), que al igual que la LFCCA tuvo un carácter centralizador, a pesar de que esta tendencia no es la que priva en la actualidad en el país. El capítulo Tercero de dicha Ley considera la protección al medio marino, cuyo enfoque se restringe a la contaminación de las aguas, sin tomar en cuenta que el daño ambiental puede ser producto de una diversidad de factores, los cuales no necesariamente son producto directo de la contaminación. Esta Ley consideraba la contaminación como un problema de salud pública, razón por la cual, el ambiente como tal no era considerado como un sujeto al cual se le debiese proporcionar una protección jurídica especial.

Con motivo de las reformas que se hicieron al artículo 4o. constitucional en 1983, se dispuso que la Ley estableciera la concurrencia de la Federación y las entidades federativas en materia de salubridad general. Con esta modificación se intentó resolver la federalización irrestricta que había sido resultado de las reformas al artículo 73 antes mencionadas.

En 1987 se reformó el artículo 73 constitucional, para adicionar la fracción XXIX-G, que otorga al H. Congreso de la Unión la facultad para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico, lo que abrió el cause legal para la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y proporcionó el sustento jurídico necesario para ceder a los estados y municipios, atribuciones en materia ambiental.

ARTÍCULO 25 CONSTITUCIONAL

En diciembre de 1982 se hicieron nuevas reformas a la Constitución Política del País, las cuales entraron en vigor en 1983. Estas tuvieron por objeto incorporar de manera explícita, el concepto de protección del ambiente en su conjunto, a través de la expresión «cuidado del medio ambiente». Esta reforma amplió los conceptos que ya estaban incorporados en el artículo 27, para incluir la conservación de los recursos productivos.

Con dichas reformas, el texto de este artículo fue modificado, en cuanto al desarrollo económico del país, para incluir: «...apoyar e impulsar a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolas a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente».

Entre los puntos de interés en estas modificaciones están, por ejemplo, el hecho de que se ponga el interés público y la conservación de los recursos productivos por encima de los intereses particulares de las empresas, así como el que, por primera vez, se incorporen a la Constitución las palabras «medio ambiente», al tiempo que se le considera separado de los recursos productivos y se le de rango constitucional a su «cuidado».

Las ideas de este artículo 25 modificado están vinculadas con las que se expresan en el artículo 27, pero su ámbito es algo distinto, pues el artículo 25 se refiere a las actividades de las empresas. Esta nueva redacción está también vinculada con el artículo 5to., que consagra la libertad económica, pero señala que puede

ser objeto de restricciones. El texto del párrafo sexto del artículo 25 proporciona la base constitucional para dichas restricciones, aunque este fundamento se encontraba ya previsto en el artículo 5to. constitucional desde 1917.

Aunque como ya se dijo, a primera vista podría pensarse que el artículo 25 reitera lo establecido en el artículo 27, de hecho es más amplio, porque se refiere a los recursos productivos en general y no sólo a los recursos naturales susceptibles de apropiación, al tiempo que no sólo se refiere a la conservación de dichos recursos, sino a la del ambiente en general. Esta reforma es, por tanto, la primera que introduce en la Constitución conceptos ambientales básicos.

En la reforma al artículo 25 constitucional, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* de el 28 de junio de 1999, se incorporó a la Constitución la base “sustentabilidad” en el desarrollo nacional, que posteriormente se vino a complementar con la reforma a la Ley de Planeación (DOF del 23 de mayo de 2002), a efecto de integrar a la planeación nacional de desarrollo, la protección al ambiente y aprovechamiento racional de los recursos naturales, con el propósito de contribuir a la transformación de la realidad del país.

ARTÍCULO CUARTO CONSTITUCIONAL

Este artículo forma parte del Título Primero, Capítulo primero de la Constitución, de las Garantías Individuales y establece el derecho de toda persona a la protección de la salud: especifica que la Ley definirá las bases y modalidades para el acceso a la salud y establecerá las modalidades de colaboración entre los estados y la federación para dichos fines.

El derecho de toda persona a un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar, quedó integrado dentro del catálogo de las llamadas garantías individuales en nuestra Constitución (Reforma de 1999).

LAS CUATRO PERSPECTIVAS CONSTITUCIONALES

De lo que se ha discutido anteriormente, es evidente que conforme a nuestra Constitución, la protección ambiental en México se lleva a cabo actualmente desde los siguientes ángulos:

- a) El Estado garante del derecho de toda persona a un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar (artículo 4°).
- b) La conservación de los recursos naturales susceptibles de apropiación. (artículo 27).

- c) La prevención y control de la contaminación ambiental en cuanto a sus efectos sobre la salud. (artículo 73).
- d) El cuidado del medio ambiente en relación con el uso de los recursos productivos por parte de los sectores social y privado, así como la “sustentabilidad” del desarrollo (artículo 25).

Como es evidente, estas cuatro vertientes son el resultado de ideas parciales y cambiantes sobre los principales temas ambientales. Estas se fueron modificando conforme fue evolucionando la visión sobre los problemas ambientales y sus consecuencias; se fueron reformando los artículos constitucionales que se creyeron más adecuados para incluir estas preocupaciones. Sin embargo, en ninguno de los casos se hizo una reforma de fondo que permitiera tratar estas cuestiones de manera integral.

De los preceptos constitucionales arriba referidos, se deriva una serie de cuerpos normativos que regulan materias relacionadas con la protección del ambiente y de los recursos naturales, de los que destaca la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, ya que es el instrumento jurídico que regula de manera global los aspectos relacionados con las citadas materias. No obstante lo anterior, las Leyes de Aguas Nacionales, de Pesca, General de Desarrollo Forestal Sustentable, General de Vida Silvestre, General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos, de Metrología y Normalización, la Ley Federal del Mar, además de contener disposiciones relativas a la explotación y aprovechamiento de recursos naturales, incluyen regulaciones relacionadas con la protección y conservación de los mismos.

AVANCES DEL MARCO LEGAL

En los últimos años, México ha experimentado un importante fortalecimiento del marco legal e institucional para la protección del ambiente y la preservación de los recursos naturales. Aunque podemos encontrar antecedentes legislativos referidos a las materias señaladas desde la década de 1920, es a partir de 1972, con la expedición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, cuando se inicia el proceso tendiente a consolidar la gestión ambiental. Dicho proceso adquiere una dinámica especial a partir de 1988, con la modificación a diversos preceptos constitucionales con el propósito de incorporar el más alto nivel normativo, principios en la materia, así como con la expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Entre 1988 y 1993, se expidieron leyes ambientales en todas las entidades federativas y en algunos casos se reglamentaron sus disposiciones a nivel tanto estatal como municipal. En la protección de los recursos naturales los datos se remontan a la *Ley del Mar Territorial de 1902*, *Ley Forestal de 1926*, *Ley de Pesca de 1925*, *Ley de Caza de 1940*, y a la *Ley de Aguas de Jurisdicción Federal de 1910*.

Por otra parte, la organización de la administración pública tanto federal como local ha venido experimentando cambios importantes tendientes a consolidar en una sola instancia la atención de los principales aspectos que involucran la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

A continuación, se hace un recuento de la evolución de la legislación ambiental mexicana.

Primera etapa: Falta título

Constitución (1917)

Art. 27: Protección de los Recursos Naturales.

Art. 73: Prevención y control de la contaminación.

Art. 25: Cuidado del Ambiente.

Ley de Aguas de Propiedad Nacional (1934).

Código Sanitario (1955)

Control de la contaminación como problema de salud pública.

Segunda etapa (1970–1982). Primeros intentos para sistematizar la legislación ambiental

Expedición de la primera Ley Ambiental: Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (D.O.F. 31 de marzo de 1971).

Se crea la Subsecretaría de Mejoramiento Ambiental (1972).

Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente (Estocolmo 1972) sobre desarrollo y ambiente. Ecodesarrollo.

Tercera etapa (1982–1987). Bases para la integración de la gestión ambiental

Expedición de la Ley Federal de Protección al Ambiente (D.O.F.11 de enero de 1982).

Creación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1982).

(Continúa)

Se reforma el artículo 25 Constitucional (1983).

Informe final de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo. Nuestro futuro común (1987). Desarrollo sostenible.

Cuarta etapa (1987–1994). Integración y consolidación de la legislación ambiental

Reforma a los artículos 27 y 73 Constitucionales.

Expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (D.O.F. 28 de enero de 1988).

Creación de la Secretaría de Desarrollo Social.

Creación del Instituto Nacional de Ecología (INE).

Creación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

Expedición de leyes ambientales locales.

Creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) (1994).

Quinta etapa (1995–2001). Redimensionamiento de la legislación ambiental

Plan Nacional de Desarrollo 1995 – 2001

Programa de Medio Ambiente 1995 – 2001

Reformas a la LGEEPA de 1996

- Incorporación de incentivos fiscales y económicos.
- Inclusión de principios como “el que contamina paga”.
- Orientación de acciones hacia la prevención de la contaminación.
- Perfeccionamiento de los instrumentos de política ambiental.

Sexta etapa (2001-2003). Desarrollo actual de la legislación ambiental

Reformas a la Ley de Planeación (D.O.F. 23 de mayo de 2002)

Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006

Plan Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006

Programa Nacional Hidráulico 2001-2006

Plan Nacional Forestal 2001-2006

Programa de Procuración de Justicia Ambiental 2001-2006

Programa de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2001-2006

Cruzada por los Bosques y el Agua

Cruzada por un México Limpio

MARCO JURÍDICO DE LOS MARES Y LITORALES MEXICANOS

A continuación se describen brevemente los diferentes ordenamientos jurídicos que en la escala federal regulan la materia que nos ocupa y se realiza un comentario general sobre las características de la legislación local.

LEY FEDERAL DEL MAR

La Ley Federal del Mar fue publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del 8 de enero de 1986, y su reglamento el 21 de agosto 1991 y establece que las zonas marinas mexicanas son:

- a) El mar territorial.
- b) Las aguas marinas interiores.
- c) La zona contigua.
- d) La zona económica exclusiva.
- e) La plataforma continental y las plataformas insulares.
- f) Cualquier otra permitida por el derecho internacional.

Las materias reguladas por esta ley son:

- Instalaciones marítimas.
- Recursos y aprovechamiento económico del mar.
- Protección y preservación del medio marino.
- Investigación científica marina.
- Zonas marinas mexicanas.

De igual forma, el citado ordenamiento dispone que “la exploración, explotación, beneficio, aprovechamiento, refinación, transportación, almacenamiento, distribución, y venta de los hidrocarburos y minerales submarinos, en las zonas marinas mexicanas, se rige por las Leyes Reglamentarias del artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo y en Materia Minera y sus respectivos Reglamentos” (artículo 19).

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el 28 de enero de 1988 y se estructu-

ra en seis títulos que se pueden concretar en las siguientes temáticas: disposiciones generales (título primero), biodiversidad (título segundo), aprovechamiento sustentable de los elementos naturales (título tercero), protección al ambiente (título cuarto), participación social e información ambiental (título quinto), medidas de control y seguridad y sanciones (título sexto).

Las principales materias reguladas en esta Ley son: evaluación de impacto ambiental, ordenamiento ecológico, normas oficiales mexicanas, protección atmosférica, protección de las aguas, materiales y residuos peligrosos y sólidos, actividades altamente riesgosas, ruido, áreas naturales protegidas, flora y fauna silvestre y acuática así como inspección y vigilancia.

Competencias: la Ley establece que la distribución se da en función de tres criterios básicos, el primero se establece en relación con la materia o naturaleza del objeto a regular, el segundo se refiere al territorio donde la actividad se lleva a cabo y el último a la magnitud o gravedad potencial de los efectos ambientales.

Política ambiental: la Ley establece los lineamientos que deben atenderse en su elaboración, así como los instrumentos a través de los que se ejecutan los objetivos de las políticas establecidas, tanto en el Plan Nacional de Desarrollo, como en el Programa Nacional del Medio Ambiente. Estos instrumentos se refieren a los siguientes aspectos; el ordenamiento ecológico del territorio, la promoción del desarrollo, la regulación ambiental de los asentamientos humanos, la evaluación del impacto ambiental, las normas oficiales mexicanas, las áreas naturales protegidas, la investigación y la educación ecológica, y la información y vigilancia.

Protección de los recursos naturales: se realiza a través de la regulación sobre establecimiento de áreas naturales protegidas y de criterios para el aprovechamiento racional del agua y de los ecosistemas acuáticos, del suelo y de los recursos no renovables.

Recurso agua, ecosistemas acuáticos, suelo y recursos no renovables: en virtud de que estas materias cuentan con cuerpos normativos específicos, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se dedica a establecer los criterios a los que se debe sujetar el aprovechamiento racional de cada recurso, así como las acciones de gobierno que deben atender irrestrictamente estos criterios.

Protección, restauración y mejoramiento del ambiente: se controla por medio de disposiciones relacionadas con la prevención y control de la contaminación atmosférica, del agua y de los ecosistemas acuáticos, del suelo, así como a través de la regulación sobre actividades riesgosas y de la genera-

ción y manejo de materiales y residuos peligrosos, energía nuclear, ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación nuclear.

Inspección y vigilancia: la Ley incluye un título denominado medidas de control y de seguridad y sanciones, en el que se establece la facultad de las autoridades para la realización de visitas de inspección, así como las formalidades a las que se deben sujetar dichos actos administrativos. De igual manera, prevé como sanciones por incurrir en infracciones administrativas la multa, la clausura o el arresto administrativo, contemplando la duplicación de la multa y la clausura definitiva para casos de reincidencia.

De la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, derivan distintos cuerpos normativos que tienen como objeto reglamentar de manera específica sus disposiciones en materia de impacto ambiental; contaminación atmosférica; residuos peligrosos; ruido; contaminación generada por vehículos automotores; contaminación del mar y transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

El Reglamento de la LGEEPA en materia de Residuos Peligrosos, el cual también se encuentra vigente desde el 25 de noviembre de 1988, hasta que no entre en vigor la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, contiene tres aspectos fundamentales, a saber, normas relacionadas con la generación de residuos peligrosos, así como con el manejo y la importación y exportación de dichos elementos. También se establecen disposiciones muy precisas respecto del almacenamiento, transporte y confinamiento de residuos peligrosos.

Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias

La contaminación del mar se controla a través del Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 23 de enero de 1979; este reglamento tiene por objeto cumplir con las obligaciones derivadas del Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias, regula vertimientos deliberados de materias, sustancias o desechos en aguas jurisdiccionales mexicanas, realizados por buques, aeronaves, plataformas u otras estructuras.

Asimismo, establece la obligación de obtener permiso a efecto de verter alguno de los materiales señalados, cuando no existe otra alternativa, para lo cual la autoridad deberá tomar en consideración criterios relacionados

con los efectos que se produzcan en los recursos pesqueros, la vida humana, los recursos minerales marinos y las playas.

Reglamento de la LGEEPA en materia de áreas naturales protegidas

Una de las estrategias para conservar y revertir las tendencias de degradación de las zonas costeras y los mares mexicanos es la creación de áreas naturales protegidas, las cuales se encuentran reguladas en el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Áreas Naturales Protegidas (DOF 30 de noviembre de 2000). Estas se establecen mediante declaratoria que expida el Ejecutivo Federal, conforme a la LGEEPA y demás disposiciones aplicables, con la participación de los gobiernos de las entidades federativas y los municipios, de conformidad con el ordenamiento anteriormente citado y las leyes locales, en los casos de áreas naturales protegidas en jurisdicción local.

Las declaratorias para el establecimiento, administración, desarrollo y vigilancia de las áreas naturales protegidas de interés de la Federación, deberán contener, entre otros puntos, los siguientes:

- I. La delimitación precisa del área, señalando la superficie, ubicación, deslinde y en su caso, la zonificación correspondiente.
- II. Las modalidades a que se sujetará dentro del área, el uso o aprovechamiento de los recursos naturales en general o específicamente de aquellos a protección.
- III. La descripción de actividades que podrán llevarse a cabo en el área correspondiente, y las modalidades y limitaciones a que se sujetarán.
- IV. La causa de utilidad pública que en su caso fundamente la expropiación de terrenos, para que la nación adquiriera su dominio, cuando al establecerse una Área Natural Protegida se requiera dicha resolución; en estos casos deberán observarse las previsiones de la leyes de expropiación, agraria y de los demás ordenamientos aplicables;
- V. Los lineamientos generales para la administración, el establecimiento de órganos colegiados representativos, la creación de fondos o fideicomisos y la elaboración del programa de manejo del área, y
- VI. Los lineamientos para la realización de las acciones de preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales dentro de las áreas naturales protegidas para su administración y vigilancia, así como para la elaboración de las reglas administrativas a que se sujetarán las actividades dentro del área respectiva, conforme a lo dispuesto en ésta y otras leyes aplicables.

Las medidas que el Ejecutivo federal podrá imponer para la preservación y la protección de las áreas naturales protegidas, serán únicamente las que se establecen según las materias respectivas y la presente Ley, las Leyes Forestal, de Aguas Nacionales, de Pesca, Federal de caza, y las demás que resulten aplicables.

LEY GENERAL DE BIENES NACIONALES

La Ley General de Bienes Nacionales publicada en el *Diario Oficial de la Federación* de fecha 8 de enero de 1982, tiene por objeto regular los actos de adquisición, control, administración, transmisión de dominio, inspección y vigilancia de inmuebles federales. Estos inmuebles federales constituyen parte del patrimonio nacional, el cual se compone de Bienes de dominio público de la federación y Bienes de dominio privado de la federación (artículo 1°).

Dentro de los Bienes del dominio público se encuentran los de Uso común que la propia Ley General señala, entre otros, el mar territorial; las aguas marinas interiores; las playas marítimas; la zona federal marítimo terrestre; los cauces de las corrientes y los vasos de los lagos, lagunas y esteros de propiedad nacional; los puertos, bahías, radas y ensenadas; los diques, muelles, escolleras, malecones y demás obras de los puertos, cuando sean de uso público.

Las playas marítimas, entendiéndose por tales las partes de tierra que por virtud de la marea cubre y descubre el agua, desde los límites de mayor reflujo hasta los límites de mayor flujo anuales (artículo 29 Fracción IV).

Cuando la costa presente playas, la zona federal marítimo terrestre estará constituida por la faja de 20 metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a dichas playas o, en su caso, a las riberas de los ríos, desde la desembocadura de estos en el mar, hasta 100 metros río arriba (artículo 49).

En el caso de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales de agua marina que se comuniquen directa o indirectamente con el mar, la faja de veinte metros de zona federal marítimo terrestre se contará a partir del punto a donde llegue el mayor embalse anual o límite de la pleamar (...) (artículo 49, fracción III). La totalidad de la superficie de los cayos y arrecifes ubicados en el mar territorial, constituirán zona federal marítimo terrestre (artículo 49 fracc. II).

En el caso de que la zona federal marítimo terrestre sea invadida total o parcialmente por las aguas, o de que éstas lleguen inclusive a invadir terrenos de propiedad particular colindantes con la zona federal marítimo te-

terrestre, ésta se delimitará nuevamente en los términos de esta Ley y sus reglamentos. Las áreas de los terrenos que pasen a formar parte de la nueva zona federal marítimo terrestre perderán su carácter de propiedad privada, pero sus legítimos propietarios tendrán derecho de preferencia para que se les conceda, conforme a lo establecido por esta ley (artículo 51).

Cabe mencionar que la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar no podrán ser objeto de afectaciones agrarias y en consecuencia, no podrán estar comprendidos en las resoluciones presidenciales de dotación, ampliación, y restitución. Los ejidos o comunidades colindantes tendrán preferencia para que se les otorgue concesión para el aprovechamiento de dichos bienes (artículo 55).

LEY GENERAL DE DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE

Para la protección de los recursos forestales entre los que se encuentran los manglares de las zonas costeras, se cuenta con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicada en el diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre y 25 de febrero de 2003. Esta ley tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la federación, los estados, el Distrito Federal y los municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX inciso G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable. Cuando se trate de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas se observará lo dispuesto por el artículo 2 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Entre las materias reguladas por esta Ley, se encuentran: auditorías técnicas preventivas, certificación forestal, transporte, almacenamiento y transformación de las materias primas forestales, cambio de uso del suelo en los terrenos forestales, sanidad forestal, prevención, combate y control de los incendios forestales, conservación, restauración, reforestación, instrumentos económicos del fomento forestal e investigación para el desarrollo forestal sustentable.

Dicho ordenamiento establece las bases de la política forestal en el contexto del Programa Nacional Forestal 2001 – 2006 publicado en el *Diario Oficial de la Federación* del 27 de septiembre de 2002, en el que “La visión de futuro del sector forestal en el año 2025 es la guía para los esfuerzos de la

sociedad y el gobierno. Esta visión permite comprender que el futuro no es lo que irremediamente sucederá, sino el producto de una actitud colectiva para imaginar con claridad cómo se desea que éste sea y decidir las acciones necesarias para hacerlo realidad. Esta visión señala las principales características del sector forestal que queremos construir para afirmar un compromiso de largo plazo con la sociedad mexicana”, en el cual destaca la planeación del aprovechamiento de los recursos forestales, a través del uso de instrumentos como el Inventario Nacional Forestal y la zonificación de los terrenos forestales, a fin de propiciar el desarrollo sustentable.

En esta materia, como en otras, fortalecer la capacidad de gestión del gobierno federal, de los estados y de los municipios es uno de los propósitos fundamentales que se recogen en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del 25 de febrero de 2003, para lo cual se crea el Servicio Nacional Forestal, como un organismo que tendrá por objeto la conjunción de esfuerzos, instancias, instrumentos, políticas, servicios y acciones institucionales para la atención eficiente y concertada del sector forestal. La federación, los estados y los municipios establecerán las bases de coordinación para su integración.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable se vincula con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, para armonizar, en un solo documento, las autorizaciones de aprovechamiento de recursos forestales y forestaciones, con el impacto ambiental por obras y actividades de competencia federal, a fin de facilitar la gestión administrativa de los particulares frente a la autoridad federal, y bajo la directriz de un programa de simplificación administrativa.

LEY DE PESCA

Asimismo, se encuentran en vigor la Ley de Pesca publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del 25 de junio de 1992 y su Reglamento publicado en el *Diario Oficial de la Federación* del 29 de septiembre de 1999, en ambos ordenamientos se regulan los recursos naturales que constituyen la flora y fauna cuyo medio de vida es el agua. El objeto de estas disposiciones es garantizar la conservación, preservación y aprovechamiento racional de los recursos pesqueros y establecer las bases para su adecuado desarrollo y administración.

Las materias reguladas por esta Ley son: pesca comercial, pesca de fomento, pesca didáctica, pesca deportivo-recreativa, pesca de consumo doméstico, acuacultura comercial, acuacultura de fomento, acuacultura di-

dáctica, sanidad acuícola, métodos y artes de pesca, legal procedencia y sanciones.

LEY GENERAL DE VIDA SILVESTRE

En México la conservación, protección, aprovechamiento y desarrollo de la flora y fauna silvestres, es una materia concurrente entre la federación, los estados y municipios en el ámbito de sus respectivas competencias, de conformidad con la Ley General de Vida Silvestre, la cual tiene por objeto establecer la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los Estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas en donde la Nación ejerce su jurisdicción.

Se define por vida silvestre: “Los organismos que subsisten sujetos a los procesos de evolución natural y que se desarrollan libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como los ferales.” (fracción XLI, artículo 3°).

En la Ley General de Vida Silvestre se reconoce que las actividades de conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre se respetará, conservará y mantendrá los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades rurales que entrañen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat y se promoverá su aplicación más amplia con la aprobación y la participación de quienes posean esos conocimientos, innovaciones y prácticas. Asimismo, se fomentará que los beneficios derivados de la utilización de esos conocimientos, innovaciones y prácticas se compartan equitativamente.

La Ley General de Vida Silvestre confiere a la hoy Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la facultad de organizar los cuerpos de inspección y vigilancia del cumplimiento de las disposiciones en la materia. Las autoridades federales, locales y municipales deberán concurrir para el logro del objetivo de la ley, así como de la difusión de enseñanza especializada y de los conocimientos necesarios para la conservación y fomento de la fauna silvestre.

Las materias reguladas por esta Ley son: registro y operación de Unidades de Manejo Ambiental, aprobación del Plan de manejo, control de la sanidad fitozoosanitaria, manejo de ejemplares exóticos, medidas de trato digno y respetuoso, tipos de aprovechamiento, legal procedencia, traslados, importación, exportación y sanciones.

Congruente con lo anterior, la SEMARNAT expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-059-2001, que tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción.

LEY DE AGUAS NACIONALES

La regulación del uso y aprovechamiento del agua se encuentra prevista en la Ley de Aguas Nacionales cuya entrada en vigor data del 1o. de diciembre de 1992 y el Reglamento de la Ley publicado el 12 de enero de 1994, en el régimen jurídico integrado por estas dos legislaciones se establecen las disposiciones relacionadas con el uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, así como su distribución, control, calidad y cantidad.

Las materias reguladas por esta Ley son: administración del agua, programación hidráulica, derechos de uso, zonas reglamentadas, de veda o reserva, usos del agua, prevención y control de la contaminación del agua, inversión en infraestructura hidráulica e infracciones, sanciones y recursos.

LEY SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

En materia de normalización, se encuentra vigente la Ley Federal sobre Metrología y Normalización publicada en el órgano oficial de difusión el 1o. de julio de 1992, en esta Ley se establecen los principios, mecanismos y aspectos a cumplir por parte de los organismos facultados para desarrollar el proceso de elaboración de las normas oficiales mexicanas, en las que se establecen las especificaciones y características de productos, procesos y servicios, cuando puedan constituir un riesgo para el medio ambiente. A través de estos instrumentos jurídicos se establecen los límites de contaminación permisibles en todas las materias ambientales, así como los requisitos de actividades, instalaciones o servicios a cumplir a efecto de proteger el ambiente.

Actualmente se encuentran vigentes cuatro normas oficiales mexicanas en materia de calidad del agua residual, cinco en materia de atmósfera, trece en emisiones de fuente fija, diez en emisiones de fuentes móviles, dos en calidad de combustibles, diez en materia de residuos peligrosos, uno en materia de residuos municipales, cuatro en materia de contaminación de rui-

do, siete en materia de impacto ambiental, quince en materia forestal, uno en control de plagas, cuatro en materia de suelos, seis en materia de protección de especies, actualizadas al 15 de agosto de 2003.¹

LEGISLACIÓN LOCAL

En el ámbito local, desde el año de 1988 los estados de la República Mexicana, iniciaron sus procesos legislativos a fin de promulgar leyes ecológicas estatales, a la fecha las 31 entidades federativas cuentan con una Ley en materia, e incluso, la mayoría cuenta con reglamentaciones de dichas leyes principalmente en materia de impacto ambiental y contaminación atmosférica. Por su parte, los municipios han incluido en sus bandos de policía y buen gobierno, regulaciones sobre aspectos relacionados con la disposición de residuos domésticos, zonas verdes, etc.

Respecto de las leyes estatales ambientales es importante destacar que contienen disposiciones que se constituyen como la proyección de las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el ámbito estatal, las materias que en términos generales han incluido los congresos locales en sus legislaciones se refieren a la distribución de competencias, educación e información ecológica, aprovechamiento racional de recursos, participación social, contaminación atmosférica, del agua y del suelo, por ruido, luminosa y olores perjudiciales, así como residuos sólidos.

Actualmente con la expedición de las leyes generales los estados tendrán la tarea de emitir sus leyes locales en estas materias.

CONCLUSIONES

Es notorio que en el país, nunca se ha partido de una visión integral y actual de lo que es el ambiente para la adecuación de la legislación ambiental y las leyes relacionadas con ella, como la de Aguas Nacionales. Como resultado, tanto las bases constitucionales como las leyes específicas del derecho ambiental mexicano consideran a este de manera fragmentada y parcial. Tal como es de esperarse, estos problemas se reflejan en toda la legislación ambiental mexicana y son el origen de muchas de las deficiencias que se han identificado en las primeras leyes sobre el tema y en la vigente.

Cuando estos enfoques se analizan conjuntamente, resaltan las principales deficiencias del sistema jurídico mexicano. En particular, debe notarse que:

1. Legislación de carácter sectorial, que responde al uso, protección, conservación y aprovechamiento de determinado recurso natural (Ley de Pesca, Ley General de Vida Silvestre, Ley de Aguas, etc.).
2. Ausencia de un marco doctrinario en derecho ambiental en materia de uso y conservación de las zonas marítimas áreas costeras y políticas acordes a este, pocos doctrinarios mexicanos han tratado a profundidad este ámbito.
3. Ausencia de procedimientos administrativos claros para una correcta aplicación de la norma ecológica, cada una de las leyes examinadas regula específicamente un recurso natural relacionado con el tema de estudio, estableciendo procedimientos propios que en muchas ocasiones no va más allá de la sanción administrativa y sin una sistematización técnica y jurídica, lo que impide que exista una vinculación entre los distintos instrumentos jurídicos que directa o indirectamente regulan esta materia.
4. Coordinación de competencias entre los diferentes niveles de gobierno en materia ambiental, en el ámbito federal, estatal y municipal. Es necesario instrumentar vías por las cuales se puedan concertar y llevar a cabo acciones concertadas entre los tres niveles de gobierno para poder ejercer una protección integral de las áreas marítimas y costeras, dentro de los ámbitos de competencia de cada uno de los actores relacionados con esta problemática.
5. Ausencia de orden y sistematización de la legislación ambiental, de tal manera que las reformas legislativas en este campo, respondan a un proyecto y una interpretación integral del ambiente y de los ordenamientos jurídicos ya existentes.

En conclusión, a pesar de que el artículo 27 constitucional incluye ideas que son pioneras en cuanto a la protección de los recursos naturales, posteriormente estas ideas no tuvieron un desarrollo congruente, conforme lo que debiera haber justificado la experiencia de otros países, especialmente en cuanto a la regulación de las zonas costeras. Es decir, todavía no hay en nuestro país una regulación suficientemente estricta, amplia, completa sobre el manejo de ambientes costeros en lo referente a medio marino, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar.

Se pueden analizar críticamente otros temas y en todos se podrán encontrar lagunas que impiden, en la práctica, que la legislación sobre zonas costas y marinas en nuestro país, tenga la fuerza que se requiere.

BIBLIOGRAFÍA

- Baqueiro Rojas, Edgard 1997. *Introducción al Derecho Ecológico*. Colección Textos Jurídicos Universitarios,. Editorial Harla,. México.
- Brañes, Raúl 1987. *Derecho Ambiental Mexicano*. Segunda edición. Editorial Fundación Universo Veintiuno, México.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. Varias editoriales.
- García Saavedra, José David y A. Jaimes Rodríguez 1997. *Derecho Ecológico Mexicano*. Ed. UniSon, México.
- Gutiérrez Nájera, Raquel 1998. *Introducción al Estudio del Derecho Ambiental*. Editorial Porrúa, México.
- Instituto Nacional de Ecología 1996. *Programa de Áreas Naturales Protegidas 1995-2000*. SEMARNAP, México.
- Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 1° de diciembre de 1992. México.
- Ley Federal del Mar. *Diario Oficial e la Federación*, 8 de enero de 1986. México.
- Ley de Pesca. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de junio de 1992.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización. *Diario Oficial de la Federación* de 1o. de julio de 1992. México.
- Ley General de Bienes Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de enero de 1982. México.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. *Diario Oficial de la Federación*, el 22 de diciembre. México.
- Ley General de Vida Silvestre. *Diario Oficial de la Federación*, de 3 de julio de 2000. México.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Diario Oficial de la Federación*, el 28 de enero de 1988. Reforma: *Diario Oficial de la Federación*, 13 de diciembre de 1996. México.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de octubre de 2003. México.
- Molina Enríquez, Andrés 1983. *Los grandes problemas nacionales*. Cuarta edición. Editorial Era, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002.
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos 1995. *Gestión de zonas costeras. Políticas integrales*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

- Programa Nacional Forestal 2001–2006. *Diario Oficial de la Federación*, 27 de septiembre de 2002. México.
- Reforma al artículo 25 (Cuidado del medio ambiente). *Diario Oficial de la Federación*, 3 de febrero de 1983. México.
- Reforma al artículo 27y 73 fracción XXIX-G (La conservación de los recursos naturales y la protección al ambiente). *Diario Oficial de la Federación*, 10 de agosto de 1987. México.
- Reforma al artículo 4° (Derecho a la Salud). *Diario Oficial de la Federación*, 3 de febrero de 1983. México.
- Reforma artículos 4° y 25 (Derecho a un ambiente adecuado y la sustentabilidad). *Diario Oficial de la Federación*, 28 de junio de 1999. México.
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Áreas Naturales Protegidas. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de noviembre de 1988. México.
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de mayo de 2000. México.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de ordenamiento Ecológico. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de agosto de 2003. México.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de noviembre de 1988. México.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Residuos Peligrosos. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de noviembre de 2000. México.
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 12 de enero de 1994. México.
- Reglamento de la Ley de Pesca. *Diario Oficial de la Federación*, 29 de septiembre de 1999. México.
- Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de agosto de 1991. México.
- Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias. *Diario Oficial de la Federación*, 23 de enero de 1979. México.
- Zarkin Cortés, Sergio Salomón 2000. *Derecho de protección al ambiente*. Editorial Porrúa, México.

MONITOREO Y VIGILANCIA DE LAS ZONAS COSTERAS

José N. Iturriaga

INTRODUCCIÓN

En el derecho positivo, cualquiera que sea la materia de su aplicación, es indispensable la verificación del cumplimiento de las disposiciones legales. Esto es a través de acciones de vigilancia, inspección, investigación y supervisión que inducen y promueven que la normatividad sea cumplida efectivamente; que las previsiones de los legisladores o de las autoridades competentes sean una realidad en los hechos. En materia ambiental federal, este rol corresponde en México a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

El objetivo más amplio de la PROFEPA es la protección del medio ambiente y los recursos naturales. El objetivo específico es vigilar el cumplimiento de la legislación y normatividad ambiental.

El marco legal dentro del cual se llevan a cabo las inspecciones de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente deriva obviamente de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Los aspectos generales aparecen en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y en la Ley Federal de Procedimiento Administrativo. En el Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cabeza sectorial, se definen las atribuciones específicas de PROFEPA y sus unidades administrativas.

A nivel temático, las leyes fundamentales para PROFEPA son la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus diversos reglamentos, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la Ley de Pesca; para los ambientes costeros y específicamente para playas y litorales, el sustento es la Ley General de Bienes Nacionales y su Reglamento para Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Cuando es el caso de ingresos económicos, la base es la Ley Federal de Derechos.

Debe destacarse la urgente necesidad de reformar la LGEEPA y la Ley General de Bienes Nacionales. Esta última tiene un enfoque patrimonialista, no ambiental de las playas, los arrecifes, los cayos y la zona federal marítimo terrestre (ZOFEMAT), en tanto que la LGEEPA ignora en absoluto a la ZOFEMAT y los otros conceptos mencionados. En la ley ambiental deberían incorporarse todos ellos y, además, precisar los que se refieren a contaminación visual y derecho al paisaje, aquella apenas enunciada y el paisaje como tal ni se menciona.

Por su parte, en la Ley General de Bienes Nacionales debería darse a la ZOFEMAT un carácter ambiental, además del patrimonialista que intrínsecamente tiene. La previsión que establece un ancho de 20 m para la ZOFEMAT a todo lo largo de las costas del país tiene antecedentes de varios siglos atrás, pues era la superficie que permitía maniobrar un cañón; ciertamente, el concepto de ZOFEMAT tiene además un origen militar y de defensa que proviene del derecho romano, un par de milenios de antigüedad. La misma ley que nos ocupa tiene poco más de un siglo, con numerosas modificaciones. Cabría una revisión integral.

En adición, la Ley General de Bienes Nacionales es confusa y tiene lagunas con respecto al acceso a las playas a que tienen derecho los mexicanos. Por otra parte, prevé como multa máxima el equivalente a 500 días de salario, cifra a todas luces insuficiente que contrasta con el máximo de la LGEEPA establecido en 50 mil días.

MATERIAS DE COMPETENCIA DE PROFEPA

En las zonas costeras se aplican o se pueden aplicar, si es el caso, las seis materias de competencia de la PROFEPA: ZOFEMAT, impacto ambiental, recursos marinos, vida silvestre, recursos forestales e inspección industrial.

Los aspectos normativos en las seis materias los define la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. A la PROFEPA corresponde vigilar e inspeccionar el cumplimiento de esa normatividad y sus expresiones positivas: autorizaciones, concesiones, permisos, licencias, etc.

Por otra parte, PROFEPA tiene atribuciones que, llegado el caso, le permiten profundizar en la procedencia misma de esas autorizaciones.

Para el monitoreo y vigilancia de los litorales, la PROFEPA cuenta con delegaciones federales en los 17 estados costeros (de hecho, en todas las entidades del país).

En todo caso, las direcciones generales a nivel central pueden realizar directamente actuaciones e incluso atraer los procedimientos iniciados por las delegaciones.

Los principales aspectos que inspecciona PROFEPA en las zonas costeras son: que los ocupantes tengan concesión para el uso y aprovechamiento del sitio; que el uso del lugar sea congruente con las autorizaciones y concesiones correspondientes; el tipo de obras o actividades que se realizan y los impactos que se provocan. Asimismo se verifica que los cambios de uso de suelo estén debidamente autorizados (sobre todo los forestales) y que no haya afectación ilegal al medio ambiente ni a los recursos naturales por industrias u otros motivos, ni tráfico ilegal de especies. Destaca la atención de la Procuraduría a las Áreas Naturales Protegidas terrestres y marinas.

PRINCIPALES AFECTACIONES AL MEDIO AMBIENTE COSTERO

Entre las principales afectaciones al medio ambiente costero que detecta la PROFEPA podemos describir las siguientes:

Modificación y destrucción del hábitat, sobre todo por los grandes desarrollos inmobiliarios turísticos, que incluyen hoteles, condominios, fraccionamientos y campos de golf, y por industrias. Los casos más frecuentes son la deforestación de especies protegidas por la NOM-SEMARNAT-059-2001, en sus diversas categorías; tal es el caso de las diferentes especies de mangle, algunas palmas y diversas cactáceas. De igual manera es relevante el daño derivado de obtener superficies adicionales de terrenos por medio del relleno de lagunas costeras o esteros. (Ya se sabe que los ambientes costeros en general suelen ser más frágiles que los demás, y entre ellos destaca de manera particular el caso de los ecosistemas de aguas estuarinas, que tienen una enorme importancia ecológica por la interacción y finalmente interdependencia de muchas especies de flora y fauna que conforman su rica biodiversidad, sobre todo en el trópico).

Asimismo, los megadesarrollos turísticos frecuentemente afectan las

dunas costeras para conveniencia de su “arquitectura de jardines”, de hoteles y otras construcciones, pero esta tendencia empieza a revertirse porque los huracanes han enseñado una dolorosa experiencia al afectar esos inmuebles, pues la protección natural que significan las dunas está siendo revalorada. Destaca el caso de Quintana Roo, donde el crecimiento explosivo de la actividad turística en el corredor Cancún-Tulum ha provocado daños, a veces irreversibles al medio ambiente, como el fraccionamiento Tankah que rellenó esteros y manglares.

Destrucción de la línea de costa, dunas y ecosistemas adyacentes (por marinas, muelles, espigones, deportes acuáticos, cuatrimotos areneras, etc.). Desde luego, la línea de costa se altera no sólo por factores antropogénicos, sino con mayor incidencia por fenómenos naturales. El hombre trata de revertir las consecuencias de un meteoro con obras que por lo general producen el resultado benéfico que busca el constructor de las mismas, pero afectan negativamente a sus vecinos costeros. Tal es el caso de los espigones, que provocan la ampliación de la playa del lado de la corriente marina predominante, y en cambio producen una disminución de la playa en el otro lado del espigón, donde al daño natural se agrega el perjuicio provocado por la obra humana.

Muy especialmente destacan los casos de las costas de Yucatán y de Quintana Roo, donde han sido frecuentes los ciclones y asimismo han proliferado las obras para recuperación de playas. Cabe destacar que en Cancún se han iniciado pruebas piloto con otras tecnologías para recuperación de playas, como la colocación de grandes costales llenos con algún material cementante en el fondo submarino cercano a la playa o de estructuras prefabricadas con forma de cuña para una colocación similar a la anterior.

Una de las maneras más obvias para recuperar playas es rellenarlas con arena transportada en camiones y/o en barcazas, proveniente de otros lugares; este procedimiento es sumamente trabajoso y además, para que sea efectivo, tiene que mover grandes volúmenes, lo que por otra parte se afecta al banco de extracción.

El ejemplo de Ciudad del Carmen, en Campeche, es un caso particular: los límites insulares de la población han provocado que para desahogar el crecimiento urbano se rellenen algunas superficies del lado de la laguna. Además del impacto que significan esos terrenos, ganados por lo general de manera ilegal, también es ya importante el impacto a los

lugares de donde proviene el material de relleno (excepto cuando utilizan arena salada de los dragados en los bajos que se forman frente a esa ciudad, en la boca de la laguna).

Deforestación y tráfico ilegal de madera en ambientes costeros. En este tipo de irregularidades, cabe destacar, además de los manglares en Quintana Roo y otros estados, el caso de la tala y comercio de madera fuera de la ley en Los Tuxtlas, Veracruz, que es un área natural protegida, y en diversas zonas de la península de Yucatán más o menos cercanas a la costa.

Es interesante señalar que las acciones de inspección y vigilancia más delicadas y hasta peligrosas que lleva a cabo PROFEPA son por lo general las vinculadas con esta materia, pues suele haber un vínculo entre los talamontes —que son delincuentes organizados— y el narcotráfico. Los operativos que se organizan para estos efectos se apoyan con fuerza pública.

Captura y tráfico ilegal de especies marinas protegidas (mamíferos, quelonios, etc.). Por lo que se refiere a la captura involuntaria o no de especies de quelonios, ésta tiene lugar en casi todo el litoral y su consumo es básicamente local, aunque también se detectan ocasionalmente situaciones de tráfico, sobre todo en lo referente a huevos de tortuga. La tradicional artesanía de Campeche a base de Carey ha sido sustituida por el uso de hueso, y ya no se considera una demanda masiva como lo fue en décadas pasadas.

Para apoyar la inspección y vigilancia en una mayor participación social, PROFEPA propicia la integración de comités participativos comunitarios. En cinco playas de anidación de tortugas de Campeche y de Quintana Roo, ya se instalaron los comités respectivos para la protección de estas especies.

Durante el primer semestre de 2003, PROFEPA recolectó y sembró en campamentos tortugueros 729 mil huevos en Tamaulipas y 90 mil en Campeche.

En este punto destaca también el caso de los artesanos de «recuerdos» del puerto de Veracruz, que elaboran los *souvenirs* con diversas especies de conchas y de coral, costumbre de muchas décadas que no ha logrado erradicarse.

Tráfico ilegal de especies terrestres protegidas de flora y fauna. Destacan La Huasteca, Los Tuxtlas y la península de Yucatán por el tráfico ilegal de especies animales protegidas por la NOM-SEMARNAT-059-2001,

sobre todo aves y entre ellas pericos y otras afines, lo cual no excluye áreas naturales protegidas como la de Sian-Ka'an.

Introducción de flora y fauna no nativas. Es generalizado el uso de este tipo de especies exóticas en la jardinería hotelera, en casas particulares y a veces hasta en parques y jardines públicos.

Colisiones de barcos o anclas contra arrecifes coralinos. La incidencia de este tipo de accidentes puede apreciarse con el siguiente dato: de 1997 a 2003 fueron 17 los barcos accidentados, diez de ellos entre Cancún y Cozumel y cuatro en las proximidades del puerto de Veracruz. En conjunto, afectaron a 11,600 m² de arrecifes coralinos. No obstante el número de barcos por región, en Veracruz afectaron 6,564 m² de corales, en tanto que en el norte de Quintana Roo fueron 4,087 m².

Descargas contaminantes al mar y al subsuelo. Prácticamente todas las poblaciones costeras importantes en nuestros dos litorales (del Golfo de México y del Caribe, y del Pacífico) generan contaminación al mar por aguas residuales sin un tratamiento adecuado o sin ningún tratamiento, con excepción de Cancún, de Ixtapa y de las bahías de Huatulco (no son casualidad esas excepciones, pues en los tres casos se trata de desarrollos turísticos contemporáneos, con cuidadosa atención a ese servicio público). El caso de las aguas negras por detritus humano es el más generalizado, aunque también se presentan problemas con aguas residuales de industrias. El problema de las aguas negras deriva de plantas de tratamiento que no operan adecuadamente (por causas técnicas o por corrupción, al desviar los recursos asignados para la compra de productos químicos); y por descargas directas al mar provenientes de canales y arroyos y a veces hasta de la misma red de drenaje.

Hay casos como el de Tampico y Ciudad Madero, en los que además de sus propios problemas, les toca asumir los que se generan en otros lugares; nos referimos al drenaje de la Ciudad de México (en realidad de todo el valle) que desagua hacia Tula, usándose parte de esa agua para el riego agrícola en esa región hidalguense; sigue por el río del mismo nombre, continúa por el Moctezuma para llegar al río Pánuco y desemboca finalmente en el Golfo de México. Este es un caso dramático de fenómeno antropogénico, pues el Valle de México era una cuenca hidrológica cerrada hasta el siglo XVII, en que el ingeniero alemán Heinrich Martin (Enrico Martínez) construyó el canal de Huehuetoca o Tajo de Nochistongo, para evitar las inundaciones periódicas en la capital de la Nueva España.

El problema de los destinos turísticos de playa con aguas marinas contaminadas y por tanto no recomendables para el uso recreativo, impulsó la creación del Sistema de Información sobre Calidad del Agua en los Principales Destinos de Playa, implementado por la SEMARNAT, SSA, SEMAR y SECTUR. Sin embargo después de tres informes durante el primer semestre de 2003, el sistema se ha suspendido.

- Emisiones contaminantes a la atmósfera.
- Manejo inadecuado de combustible y residuos.

EL CONCEPTO DE ZONA FEDERAL MARITIMO TERRESTRE (ZOFEMAT)

De acuerdo con el artículo 49 de la Ley General de Bienes Nacionales, entre otros del propio ordenamiento jurídico y de su Reglamento en esta materia, la *playa* es la franja de tierra que cubre y descubre el mar desde el nivel de la máxima pleamar o marea alta del año, hasta la mínima bajamar en el mismo lapso anual.

Por su parte, para la ZOFEMAT es la franja transitible de 20 m de ancho inmediatamente contigua a la playa, es decir, que esos 20 m se miden a partir de la marea más alta del año. La ZOFEMAT existe a lo largo de la totalidad del litoral mexicano, sin exceptuar las costas donde en lugar de playas se encuentren rocas o incluso acantilados.

Además, también existe la franja de ZOFEMAT, con las mismas dimensiones, alrededor de los esteros, lagunas marinas y cualquier otro cuerpo de agua de origen marino. En adición, también hay ZOFEMAT a lo largo de los últimos 100 m de los ríos, antes de su desembocadura en el mar, en ambas orillas del curso fluvial.

Es importante resaltar que la ZOFEMAT es legalmente inalienable y por ello siempre mantiene su condición de «bien del dominio público y uso común» (además de ser inembargable e imprescriptible). En cambio, los terrenos ganados al mar o a otros cuerpos de agua de origen marino sí pueden ser desincorporados del patrimonio federal, es decir vendidos. Esta diferencia es importante porque una de las principales formas de afectación de los ambientes costeros es como consecuencia de los rellenos. Ocasionalmente se trata de una disposición de desechos sólidos o cascajo, pero por lo general se trata de rellenos expreso para ampliar las superficies utilizables económicamente.

Es curioso el ejemplo de numerosas resoluciones presidenciales acerca de

repartos agrarios que establecen límites ilegales para los ejidos: no es raro que señalen, entre los linderos de un ejido, el Golfo de México o el Mar Caribe, ignorando la existencia de la ZOFEMAT y dejando en los ejidatarios la falsa idea de que son dueños hasta de la playa.

Uno de los problemas que provocan mayor confusión y descontento con respecto a la ZOFEMAT es su movilidad en función de la pérdida o recuperación de playas, por lo general debidas a fenómenos naturales. Cuando un huracán disminuye o hasta desaparece a una playa original, la ZOFEMAT automáticamente se recorre, pues se sigue considerando a partir de la marea más alta del año. Por ejemplo, una persona que compró un predio colindante a la ZOFEMAT construye su casa y después de un fenómeno meteorológico adverso que disminuye la playa, la ZOFEMAT puede abarcar hasta la mitad de la sala y con otro huracán más pudiera llegar hasta la cocina. Como el uso y aprovechamiento de la ZOFEMAT obliga al ocupante al pago de derechos federales, resulta que tendría que empezar a pagar esa especie de renta por un terreno y una construcción que originalmente eran suyas, pero que dejaron de serlo, pues cualquier construcción en la ZOFEMAT se convierte también en propiedad federal.

El caso contrario no es equitativo. Si el mar se aleja porque la playa se ensanchó como resultado de alguna tormenta violenta (lo que también llega a suceder, aunque lo más frecuente es al revés), la ZOFEMAT también se aleja de la casa y lo que queda entre ambas son terrenos ganados al mar (este concepto se aplica, ya sean ganados artificialmente o naturalmente). El aprovechamiento de tales terrenos también obliga al pago de un derecho; la variante es que el particular puede solicitar la desincorporación a su favor, es decir una compra.

Ante esta injusticia o inequidad —vista así con un enfoque de sentido común—, aparece en el otro extremo la opinión, también fundamentada, de que aquellos que construyen junto al mar (o a la ZOFEMAT), están haciéndolo bajo su propio riesgo.

También el concepto de *libre acceso a playas* que prevé la Ley General de Bienes Nacionales (pues en México todas las playas son públicas), tiene problemas para su debido cumplimiento. En principio, esa previsión legal que-rría decir que todos los terrenos colindantes a la ZOFEMAT y esta misma zona federal deberían estar abiertos al público; en la práctica, a veces se dejan corredores entre algunos predios para permitir el paso que la ley prevé, pero en muchos casos esto no es así, como en el corredor turístico que va de Cancún a Tulum, donde a lo largo de muchos kilómetros la playa es inaccesible y *de facto*

se convierte en privada. Como la ley mencionada no especifica el intervalo que debe haber entre cada acceso, la condición jurídica de los mismos, el responsable de su mantenimiento, el ancho que deben tener y otros detalles, resultan situaciones irregulares, como en la llamada Riviera Maya. La seguridad privada de hoteles, condominios y fraccionamientos impide el paso a extraños, al no haberse previsto ese propósito en el diseño de cada proyecto.

En el mundo y en México hay dos tipos de casos en las avenidas costeras, sobre todo de los centros turísticos: donde no hay construcciones del lado de la vialidad que da a la playa y al mar (como en Río de Janeiro, en Progreso, Yuc., en Campeche y en la parte antigua del puerto de Veracruz); y donde hay construcciones de ambos lados de la calle costera (como en Miami y otras poblaciones de Estados Unidos de América y en Cancún). Esta última situación tiene algo de antisocial, sobre todo de antipopular, y es contraria al medio ambiente por lo que se refiere a contaminación visual y violación del derecho al paisaje (mismo que en México no está previsto, aunque en muchos otros países, en especial europeos, sí lo está, e incluso reglamentado).

SANCIONES POR IMPACTO AMBIENTAL Y POR VIOLACIONES A LA ZOFEMAT

Las sanciones por impacto ambiental están previstas en la LGEEPA, en tanto que las relativas a ZOFEMAT se señalan en la Ley General de Bienes Nacionales. Ya se destacó que contrasta la multa máxima equivalente a 50 mil días de salario mínimo que anota la ley ambiental, frente a la de 500 días que prevé el otro ordenamiento jurídico.

También contrasta que la LGEEPA permite clausuras (temporales o definitivas, totales o parciales), mientras que la de Bienes Nacionales no prevé esa medida preventiva o de urgente aplicación.

Paradójicamente, a la par que la Ley de Bienes Nacionales es poco enérgica en lo que ya se vio, dispone la pena corporal o privación de la libertad en otros casos; en efecto, establece de dos a 12 años de prisión por:

- Usar la ZOFEMAT sin haber obtenido previamente concesión, permiso o autorización; o por
- No devolver la ZOFEMAT a la autoridad dentro de los 30 días siguientes al requerimiento.

Se estima que en México hay 120 mil ocupantes de ZOFEMAT y sólo el 10 % tiene un título de concesión vigente; desde luego, en esta minoría se encuen-

tran los principales y más grandes ocupantes, en tanto que el otro 90 %, de ocupantes irregulares, lo constituyen sobre todo campesinos, pescadores, «palaperos», etc. Como se ve, sería prácticamente imposible aplicar la parte rigurosa de la Ley General de Bienes Nacionales.

INSPECCIONES DE PROFEPA EN LA ZOFEMAT

Durante el año de 2002 y el primer semestre del 2003, la PROFEPA realizó 958 visitas de inspección a la ZOFEMAT en el litoral del Golfo de México y el Caribe, destacando el estado de Veracruz con el 31% del total, Quintana Roo con el 26%, Campeche con el 23% y Yucatán con el 12%. La alta cifra de Veracruz se explica por las numerosas *palapas* para venta de comida que hay a lo largo de todo el estado y, por supuesto, por esa misma longitud.

AMBIVALENCIAS Y ASIMETRÍAS EN EL PROCESO DE
URBANIZACIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO: PRESIÓN
AMBIENTAL Y CONCENTRACIÓN DEMOGRÁFICA.

Cuauhtémoc León e Hipólito Rodríguez

EL MARCO: UNA DEFINICIÓN DEL ESPACIO

Tres países circundan este gran cuerpo de agua marina, y las actividades del hombre tanto tierra adentro como en las zonas costeras y en las áreas propiamente marinas han modificado, y lo seguirán haciendo, las condiciones bioquímicas, ecosistémicas y por supuesto socioeconómicas de este espacio. Estas actividades humanas pueden ser identificadas formalmente como el espacio económico y social del Golfo de México. Desde una perspectiva histórica han tenido cosas en común y van evolucionando si no con la misma intensidad sí de manera paralela. El ritmo de los cambios ha dejado huellas que conforman el paisaje y que puede “leerse”, desafortunadamente la mayor parte de las veces como una expansión y sucesión de transformaciones deletéreas.

El límite del Golfo de México, y por tanto lo que se considera la zona costera del mismo fue definido a priori. Tiene un carácter más que nada operativo para conjuntar tres dimensiones, el paisaje terrestre analizado como ecorregiones, la dinámica sociodemográfica analizada a través de las unidades municipales (o condados) y los núcleos urbanos o ciudades que permiten visualizar fácilmente la concentración de la población. La zona costera por tanto se delimitó como una franja primordialmente terrestre que tiene límites municipales (por tanto jurisdiccionales) y atributos de paisaje.

Consecuentemente, no necesariamente es una región en el sentido económico o geográfico sino que, muy probablemente, está conformada por unidades territoriales y políticas asimétricas, inconexas, tal vez complementarias, a lo más con cierta dependencia. Este tema queda pendiente por lo que concierne a los alcances de este material, sin embargo no son menores las implicaciones de la conectividad entre estas unidades, lo que por razones operativas habría que establecer es un límite que, en el sentido de la aproximación de sistemas complejos, permite considerar las condiciones de contorno (en el sentido de lo que propone García 1986 y 2000), a través de las cuales esta gran zona interactúa con el exterior. Por lo mismo y por razones de escala habría un límite tierra adentro, y otro hacia el mar, con un centroide ubicado imaginariamente en el centro del Golfo de México, rodeado por los tres países, fuera de los cuales existen un sin número de fenómenos con los que interactúan, que los conectan y hacen dependientes (corrientes, clima, recursos naturales compartidos, flujos económicos, migración entre otros).

Por fuera de este marco, en términos oceanográficos y climatológicos, está la influencia y entrada de las corrientes caribeñas y la salida por el estrecho de Florida; la entrada de ciclones, así como larvas de organismos, peces, reptiles, mamíferos, etc. Por fuera también estarían por ejemplo las actividades económicas como el comercio, el transporte marítimo de petróleo, el flujo de personas y mercancías que se desliza por el canal de Panamá hacia el Pacífico, o las conexiones del turismo incluido el flujo de cruceros al Caribe. El sistema se comunica con el exterior de múltiples maneras, sea a través de la exportación de petróleo a Europa o Asia, o bien a través del movimiento de las aves migratorias. Por fuera, pero consideradas, estarían las conexiones tierra adentro que se dan a través de los ríos. El Golfo de México recibe el agua de tres grandes cuencas hidrográficas internacionales, la cuenca del río Misisipi, el río Grande (Bravo) y el río Grijalva-Usumacinta (y en menor medida el Hondo), todos compartidos por más de un país. Adicionalmente, en su espacio geográfico, se realizan distintas actividades humanas que en mayor o menor medida influyen en la cantidad y calidad de las aguas y por tanto en la forma en que llegan al Golfo. Esto es válido también para todas las otras cuencas menores que de igual forma fluyen hacia el Golfo. De aquí que las condiciones en las zonas deltaicas o de contacto con el litoral (generalmente lagunas costeras y estuarios) son consecuencia directa de las actividades que históricamente se han desarrollado tierra adentro.

El Golfo de México podría ser modelado como una serie de traslapes entre fronteras, que a diferentes escalas pueden ser vistas como una serie de subregiones

configuradas por: a) los fenómenos propiamente marinos y atmosféricos, que al interior del Golfo determinan corrientes, presencia de surgencias, áreas de circulación ciclónica o anticiclónica; b) los fenómenos propiamente terrestres que influyen y se expresan en el litoral, lo que podría denominarse como “la costa”, que funciona como zona de transición entre el mar y la tierra (las lagunas costeras-playa-deltas-bocas-arrecifes); y por supuesto, c) las actividades humanas que se dan en cada uno de esos territorios, los asentamientos humanos, las actividades productivas primarias (agropecuarias, pesca), secundarias (industriales) o terciarias (comercio, servicios, finanzas).

Este paisaje económico está compuesto y a su vez cruzado por una serie de procesos o dimensiones, por ejemplo el transporte marítimo y sus expresiones de intensidad o especialización: el tráfico, los puertos, la extracción de petróleo, etc. Por otro lado, están los límites territoriales político administrativos, por ejemplo la Zona Económica Exclusiva de cada país, las fronteras terrestres entre ellos, los estados o provincias (en el caso de Cuba), los municipios o condados (en el caso de Estados Unidos), todo lo cual fragmenta el territorio. También están los recursos compartidos como ríos y agua subterránea en las fronteras, o las poblaciones pesqueras en el mar, pero simultáneamente y tal vez por encima de todo lo anterior, se expresan otro tipo de conexiones como lo serían los flujos de contaminantes, productos de comercio, importaciones y exportaciones de bienes y servicios (alimentos, tabaco, petróleo, etc.). Es precisamente en este complejo que cobra importancia estudiar la dinámica de la población humana.

Las costas del Golfo y el Caribe constituyen un espacio natural de enorme importancia cuya urbanización ha ocurrido de manera relativamente tardía. Si bien la emergencia de localidades urbanas tiene lugar desde la época colonial, su crecimiento demográfico y multiplicación sobre el territorio no ocurre sino hasta mediados del siglo XX. Las razones de esta relativa demora en la configuración de espacios urbanos en la región son diversas y su análisis es importante pues permite comprender algunas de las problemáticas ambientales de la actualidad.

Durante toda la época colonial, las costas fueron consideradas lugares insalubres y peligrosos. La cultura europea no estaba preparada para lidiar con los desafíos que planteaba el trópico húmedo y por esa razón se colonizó de manera preferente las zonas templadas. Con todo, la necesidad de contar con puertos de enlace con la metrópoli, obligó a las autoridades coloniales a constituir asentamientos humanos en las costas. Poblarlos representó un reto difícil de vencer pues los índices de mortalidad eran tan altos que pocas perso-

nas se atrevían a residir en ellos. Sólo de manera forzada se consiguió arraigar a grupos humanos para que atendieran las actividades básicas de los puertos. De ahí la importancia de la esclavitud y de la población de origen africano en la región. Por citar solo un ejemplo, la historia de la ciudad de Veracruz muestra que la población tuvo que enfrentar muy complejas situaciones para hacer habitable el espacio urbano. La introducción de agua y drenaje obsesionó a las autoridades municipales durante muchos años y no se consiguió resolver estas necesidades sino hasta finales de la época colonial, y ello ocurrió de manera parcial. Invertir en lo que ahora llamamos equipamiento e infraestructura urbana implicó para los habitantes de aquella época un dilema, ya que la inseguridad en que se encontraba la región a causa de la piratería mostraba como más conveniente dejar a la zona deshabitada (Rodríguez 2002).

Una vez consumada la independencia, a lo largo del siglo XIX la inestabilidad política impidió que la región prosperara en términos económicos y eso también contribuyó a aplazar la introducción de las mejoras que requería para su poblamiento. No fué sino hasta el último tercio del siglo, con el gobierno de Porfirio Díaz, que las costas recibieron inversiones importantes en infraestructura (Connolly 1997). A partir de ahí, pudo haber un repunte demográfico. El saneamiento de la zona costera, contribuyó a erradicar el miedo a la fiebre amarilla, principal causa de la mortalidad, y permitió que el flujo de población inmigrante aumentara, dotando a la región de la mano de obra necesaria para el desarrollo de actividades económicas.

Desde esa época, cuando se incorporó a la región al mercado mundial, el Golfo y el Caribe conocen cuatro procesos básicos de carácter económico que modelan la urbanización, los cuales están asociados a un conjunto de productos específicos: puertos, plantaciones, petróleo y turismo. En términos históricos podría decirse que a cada proceso le acompañaron diversas etapas de poblamiento y estilos de urbanización. Así, por ejemplo, el desarrollo de la extracción y procesamiento del petróleo da pie a diversas olas de urbanización, de modo tal que es posible hablar de cohortes o generaciones de ciudades petroleras, las cuales florecen siguiendo los yacimientos más rentables y el ciclo económico de las exportaciones e industrialización del crudo y sus derivados.

ALGUNOS ANTECEDENTES PARA SU DEFINICIÓN

Sin ánimo de hacer una periodización formal podemos destacar que el Caribe se configuró en un principio a través del comercio colonial, la esclavitud y las haciendas cañeras, luego aldoneras y tabacaleras y, posterior-

mente, con diversas actividades ganaderas y agrícolas (hasta la revolución verde). En el curso del siglo XIX surgió lo que podríamos denominar la primera generación moderna de ciudades, sobrepuestas a las ciudades coloniales, pero esta vez asociadas a un mercado no solo transnacional sino también regional. De manera paralela, inició la explotación petrolera que se concentró en las costas de los estados de Texas y Luisiana en Estados Unidos y en las costas de Veracruz, Tabasco y Campeche en México.

Como parte de esta expansión tecnológica y geográfica hacia las profundidades marinas, sobre la costa propiamente, el desarrollo industrial y portuario (primordialmente en EE.UU.) provocó un crecimiento urbano distinto, una nueva generación de ciudades o una readecuación y transformación de las viejas ciudades. El comercio se expandió y concentró al mismo tiempo, se intensificaron las rutas y el transporte de mercancías y petróleo. Mientras los recursos pesqueros han sido prácticamente barridos en toda la superficie y fondo del mar, por las flotas de los tres países y de otras banderas más.

Los recursos naturales del Golfo de México llegaron a principios del siglo XXI en un estado crítico. Por un lado, la necesidad de agua de las actividades productivas y por otro, la creciente demanda de las ciudades, hicieron que este recurso aparentemente abundante, entrara en un estado de escasez y franco deterioro como consecuencia del incremento de la demanda, y la disminución de su disponibilidad y calidad. Este fue el caso del río Bravo que prácticamente dejó de descargar agua en el Golfo. La contaminación de los cuerpos de agua, generada por actividades agropecuarias, industriales, agroindustriales, extractivas y por el mismo transporte marítimo (particularmente de hidrocarburos), han afectado severamente al Golfo. La carga y descarga de hidrocarburos en las zonas costeras es una de las actividades que mayores externalidades negativas genera (Vergara Salas 1981). De manera semejante, la expansión agropecuaria también ha suscitado importantes impactos: en algunas zonas ha dejado sólo pequeños manchones naturales (cañadas, montañas, lagunas costeras, dunas o manglares), muy fragmentados, y grandes extensiones alteradas sin la cobertura vegetal original. Este sería el caso del Plan Chontalpa y la expansión ganadera en el sur de México (ver Damascos *et al.* 1995, Tudela 1992, Restrepo 1988 y Toledo 1989)

Por ejemplo se calcula “que los humedales norteamericanos desaparecen a un ritmo de 200,000 ha anuales...La agricultura ha sido responsable del 87% de los humedales perdidos; los desarrollos urbanos causan el 8% de las pérdidas ...Las islas de barrera tampoco han escapado a los impactos... el mayor impacto lo causaron las operaciones de dragado... (y) las estructu-

ras de estabilización... Tanto humedales costeros como islas de barrera sufren los procesos erosivos... a ritmos que se han estimado para las planicies en 20 m/año; y en 100 km² para humedales” (Toledo Ocampo 1996).

En la actualidad, a las “viejas” causas de las condiciones de alto deterioro, se suman nuevas fuerzas socioeconómicas que están ligadas a los fenómenos de urbanización (aumento de la población, pobreza, demanda de energía y recursos) y expansión tecnológica. En este trabajo queremos explorar la dinámica sociodemográfica y su expresión espacial, como una forma de ver estas tendencias y pensar las implicaciones ambientales asociadas. Para ello hemos tomado una definición costera arbitraria donde las unidades analíticas territoriales se conforman con los municipios (o condados) y las ecoregiones (CEC 1997) o paisajes que se encuentran en un cinturón de 130 km de ancho (desarrollada en Del Toro 2002 y León 2003). La definición anterior permite una comparación internacional a lo largo de los litorales (así como entre ambos océanos) y se estableció como criterio para uniformar y permitir un análisis continental. Dado que las unidades de paisaje se sobreponen y traslapan con la información de los límites municipales, el ancho del cinturón varía para poder contener unidades municipales completas (*op cit.*).

Primero hacemos un análisis macro de la dinámica de población por país y ecoregión, evaluando al mismo tiempo la fragmentación de esas unidades de paisaje y las asimetrías asociadas a la economía. Posteriormente presentamos algunos datos de la parte mexicana del Golfo que confirman las tendencias de urbanización y las implicaciones sobre las presiones en los recursos naturales.

LA REGIÓN ASIMÉTRICA

El enfoque analítico que propone que los principales problemas marinos y particularmente los costeros tienen origen en las actividades localizadas en tierra, surge formalmente en 1995 en el contexto de la Organización de las Naciones Unidas (UNEP 1995). Entre otras aportaciones, esa reunión hace un reconocimiento explícito a un hecho que no por ser tan obvio era ya reconocido como preponderante: la mayoría de los problemas de las costas y marinos surgen en tierra firme.

En algunas áreas del Golfo lo anterior es particularmente relevante. Veracruz, por ejemplo, posee la forma de una gran anfiteatro con cara al Golfo. El mar, las lagunas los meandros de los ríos, los pantanos, las planicies bajas surcadas por cuatro cuencas y cuarenta ríos que desahogan el 26% del escurrimiento nacional, son la contraparte de paisajes serranos que por

su vegetación y fresca captan la humedad recogida en el mar por vientos de tipo monzónico en verano y por los “nortes” en invierno. Boege y Rodríguez 1992 reconocieron que “El carácter de anfiteatro y los escurrimientos de agua nos llevan a la conclusión de que todo lo que la mano del hombre transforma en las partes altas repercute de manera inevitable en las lagunas costeras y en el mar, que son el depósito de los suelos arrastrados por la erosión y la destrucción de los bosques. Uno de los efectos más importantes de este esquema devastador no sólo es la pérdida de bancos genéticos básicos para el futuro de México y la humanidad, sino también la pérdida económica de una inmensa riqueza forestal natural. A este proceso hay que sumarle la pérdida de suelos que avanza inexorablemente: los asolvamientos de las grandes presas, de las cuencas y de las lagunas costeras y la pérdida de las riquezas pesqueras en el Golfo, son mudos testigos del precio que se paga por el estilo de desarrollo dominante que cierra el paso a posibilidades futuras”.

Las aportaciones de nutrientes al mar (entre ellos nitrógeno y fósforo), derivadas de las actividades humanas están íntimamente relacionadas con altas concentraciones de la población, pero también con la intensidad de sus actividades o su capacidad económica. Es posible observar que al menos para América del Norte, y particularmente en el Golfo de México, la costa de Estados Unidos sobresale mundialmente por el nivel de sus descargas (ver Stephen *et al.* 2003). La carga estimada es muy superior a la de Cuba y México, y esto también es evidente con otro indicador, la intensa luminosidad que emana de los centros urbanos durante la noche, fuertemente concentrada en las costas de EE.UU., que aparece prácticamente como un corredor urbano-costero continuo, mientras que Cuba y el sur de México, aunque visibles, son con mucho comparativamente menores (figura 1).

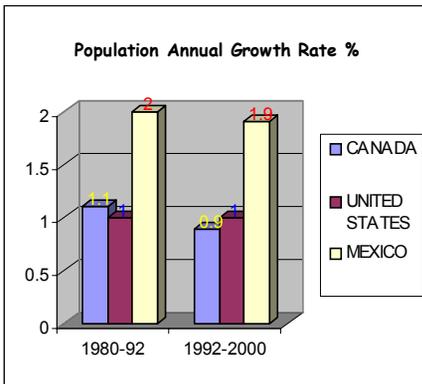
Al interior del Golfo de México existen profundas asimetrías socioeconómicas que se expresan en las capacidades para transformar la naturaleza, perturbarla, e incluso conservarla. Si lo anterior no fuera suficiente para mostrar que independientemente de la longitud de los litorales de cada país, las disparidades entre uno y otro son grandes, habría que mencionar los atributos de ingreso o economía, pues en 1990 el Producto Interno Bruto de Estados Unidos era 17 veces mayor que el de México: 5,920,199 millones de dólares en E.E.U.U. vs. 329,011 de México o 20,879 de Cuba (UN 1997) (figura 2).

En América del Norte la población no está distribuida homogéneamente. En Estados Unidos de América la población está concentrada en ciudades costeras, mientras que en México las ciudades más

FIGURA 1. EL GOLFO DE MÉXICO DE NOCHE



FIGURA 2. ASIMETRÍAS SOCIODEMOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS



grandes se encuentran en el altiplano (figura 3); asociada a estas ciudades está una actividad económica mucho mayor que la de las ciudades costeras mexicanas. Una forma de visualizar lo anterior es comparando el movimiento de cargas portuarias en el Golfo de México: lo que desplazan los puertos americanos es varios órdenes de magnitud mayor que lo que mue-

FIGURA 3. CONCENTRACIÓN DE LA POBLACIÓN EN NORTEAMÉRICA



Fuente: U.S. Department of Transportation *et al.* 2000.

FIGURA 4. MOVIMIENTOS DE CARGA PORTUARIA EN NORTEAMÉRICA (2000)



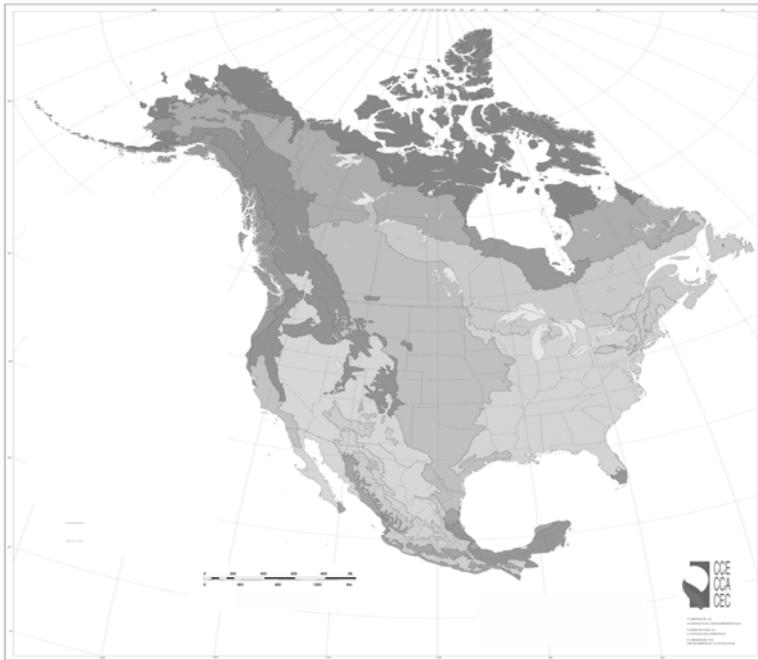
Fuente: U.S. Department of Transportation *et al.* 2000.

ven los mexicanos (figura 4).

Para estimar el peso relativo de la diversidad del paisaje con respecto a la presión que ejerce la población humana y sus actividades podemos hacer un recorte geográfico de la zona costera utilizando las ecoregiones (figura 5) para construir un cinturón con las unidades municipales (o condados) y

simultáneamente saber el tipo de paisaje o ecoregión que tienen. Dado que sólo EE.UU. tiene una definición legal y geográfica de la zona costera (con unidades de cuencas), útil a esta escala, se tomó como referencia para deli-

FIGURA 5. ECOREGIONES DE AMÉRICA DEL NORTE



Fuente: CEC 1997.

mitar un cinturón (ver Del Toro y León 2003) (figuras 6 y 7).

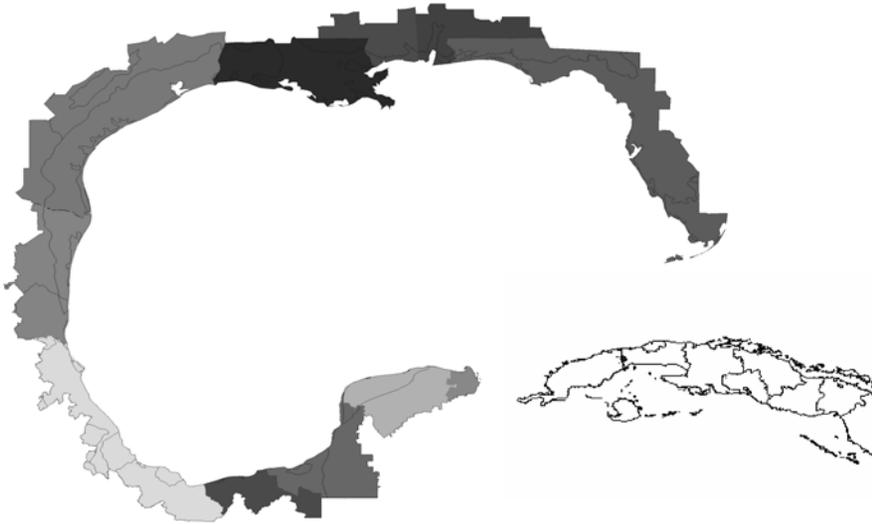
El Golfo de México, aunque controvertido en cuanto a la pertenencia caribeña, ha sido considerado como una sección o subsistema del “Gran Caribe” (Hernández-Santana *et al.* 1999). Como hemos apuntado, está compuesto por tres países, Estados Unidos de América, México y Cuba, y sus

FIGURA 6. PROMEDIOS DE ANCHO DE LA COSTA DE ESTADOS UNIDOS

FIG 7. ECOREGIONES COSTERAS DE NORTEAMÉRICA



FIGURA 8. ECOREGIONES Y ESTADOS DEL GOLFO DE MÉXICO

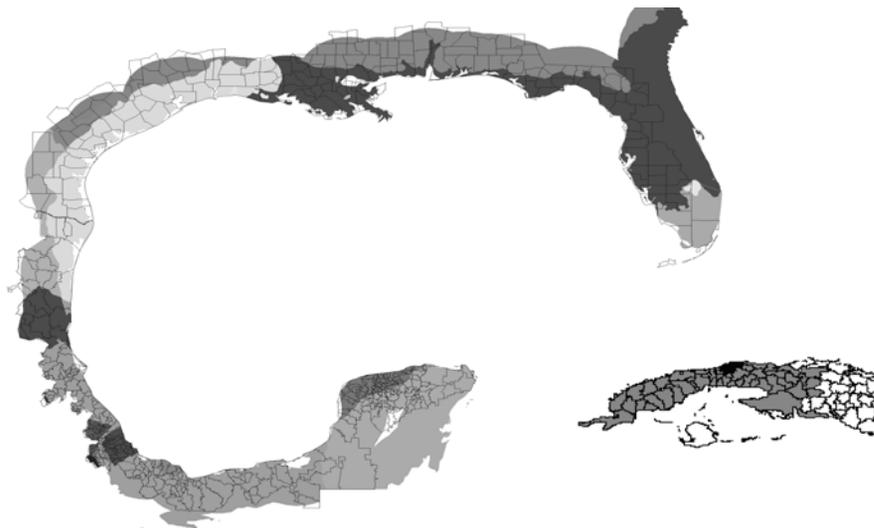


fronteras están conformadas por catorce estados o provincias (figura 8). Sin embargo, dada la definición previa, sólo algunos municipios o condados pueden ser considerados como costeros a esta escala, y son los que colindan con el litoral y otros vecinos tierra adentro contenidos en el cinturón definido; cuya inclusión puede ser importante por ejemplo, por los procesos y fenómenos de interconexión dados por la presencia de cuencas, o bien por razones demográficas y por supuesto por la propia ecoregión (figura 9).

La población total en el Golfo de México para el año 2000 era aproximadamente de 38,692,000 habitantes. Quince grandes ecoregiones terrestres están presentes y son sometidas a distintos procesos de cambio, alteración o perturbaciones como consecuencia de las actividades humanas. Adicionalmente, estos paisajes están fragmentados no sólo por las fronteras geopolíticas de los propios países (en el caso de la frontera entre México y EE.UU.) sino particularmente por las fronteras de las provincias o estados y de los municipios (cuadro 1).

Algunas ecoregiones están compartidas por más de un estado, y a su vez

FIGURA 9. ECOREGIONES Y MUNICIPIOS/CONDADOS DEL GOLFO DE MÉXICO



por un sinnúmero de municipios como sería el caso de la ecoregión Planicies Costeras y Lomeríos Húmedos del Golfo de México, que está a lo largo de tres estados (Veracruz, Tabasco y Campeche) y que en total se encuentra dividida por más de 130 municipios (cuadro 1). Más de seis millones de personas la habitan, con densidades altas de más de 70 personas por km^2 . Desde una perspectiva de conservación, el esfuerzo por mantener y preservar estos ecosistemas implicaría la coordinación de esfuerzos y políticas de tres estados y de todos los municipios que la comparten.

La zona costera en el Golfo de México no es del todo homogénea en lo que corresponde a las ecoregiones. Estas unidades denotan cierta riqueza o diversidad aún a esta escala geográfica (digamos semicontinental), pero particularmente podemos hablar de áreas nodales y sus áreas tributarias, es decir, aunque en este trabajo no exploramos explícitamente las localidades o asentamientos humanos, es posible visualizar que habría una serie de puntos de altas concentraciones de población - las propias ciudades o municipios que las contienen- y áreas internodales que pueden ser des-

CUADRO 1. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO DENTRO DE CADA ECOREGIÓN

ECOREGION (*)	ESTADO	POBLACIÓN 2000	MUNICIPIOS	SUP. KM ²	DENSIDAD POBL. (HAB/KM ²)
13.3 Sierra Madre Oriental	Veracruz	31,049	2	677	45.86
13.4 Sistema Neovolcánico Transversal	Veracruz	1,036,669	37	4,578	226.45
13.5 Sierra Madre del Sur	Veracruz	285,267	19	1,337	213.36
14.1 Planicies costeras y lomeríos secos del Golfo de México	Tamaulipas	841,021	10	17,629	47.71
	Veracruz	1,058,619	25	6,736	157.16
14.2 Planicie noroccidental de la Península de Yucatán	Yucatán	1,189,740	58	15,078	78.91
	Campeche	80,188	3	4,679	17.14
15.1 Planicies costeras y lomeríos húmedos del Golfo de México	Veracruz	4,121,484	118	54,977	74.97
	Campeche	180,477	2	14,331	12.59
	Tabasco	1,891,829	17	24,828	76.20
15.2 Planicie y lomeríos de la Península de Yucatán	Yucatán	468,470	48	24,664	18.99
	Quintana Roo	451,539	3	6,400	70.55
15.3 Sierra de los Tuxtlas	Campeche	338,014	3	25,649	13.18
	Veracruz	317,080	6	3,758	84.37
15.4 Everglades	Florida	2,584,328	3	14,613	176.85
8.3 Planicies surorientales de los EE.UU.	Misisipi	743,416	17	25,540	29.11
	Texas	769,752	20	45,841	16.79
	Alabama	908,001	12	30,276	29.99
	Florida	976,522	14	27,733	35.21
	Luisiana	382,778	6	10,222	37.45
8.5 Planicies aluviales del Misisipi y costeras del sureste	Florida	5,237,909	31	64,722	80.93
	Louisiana	2,340,156	21	38,204	61.25

(Continúa)

CUADRO 1. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO DENTRO DE CADA ECOREGIÓN

ECOREGION (*)	ESTADO	POBLACIÓN 2000	MUNICIPIOS	SUP. KM ²	DENSIDAD POBL. (HAB/KM ²)
9.5 Planicies costera de Texas-Luisiana	Louisiana	568,227	8	17,959	31.64
	Texas	6,350,037	25	65,093	97.55
	Tamaulipas	1,083,049	6	23,975	45.17
9.6 Planicie semiárida de Tamaulipas-Texas	Texas	72,849	4	13,757	5.30
	Tamaulipas	89,723	10	16,257	5.52
Subtotal		34,398,193	528	599,513	57.38
Sierra de Guaniguanico (**)	Pinar del Río	737,342	14	10,924	67.50
	La Habana	707,764	19	5,731	123.50
	Ciudad de La Habana	2,186,632	15	727	3006.10
Ciénega de Zapata	Matanzas	661,901	14	11,969	55.30
Total		38,691,832	590	628,864	61.53

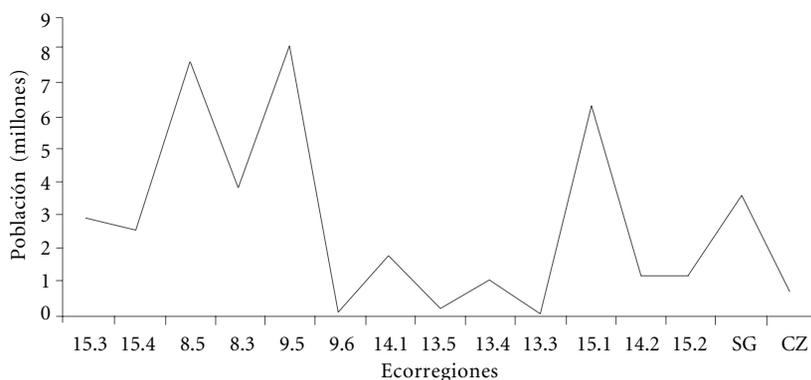
*:

critas como tributarias de esos puntos, formalmente consideradas espacios rurales.

Por ejemplo, en el Sistema Neovolcánico Transversal (ecoregión 13.4), donde se encuentra la capital del estado de Veracruz (la ciudad de Xalapa) hay más de un millón de personas y 226 habitantes por km². Las altas densidades muestran claramente el patrón de grandes concentraciones y espacios rurales de relativa baja densidad en los espacios intermedios. Lo mismo se observa en Estados Unidos de América: en los Everglades (ecoregión 15.4), hay más de dos millones y medio de personas con una densidad superior a 176 habitantes por km².

Simultáneamente, hay otras ecoregiones que presentan bajas densidades como la Planicie Semiárida de Tamaulipas-Texas (ecoregión 9.6). De cualquier modo, la densidad promedio de la costa varía entre 57 y 61 habitantes por km². Hay variaciones extremas desde 5 hasta 3000 habitantes por km² (en el caso de la ciudad de la Habana) (Cuadro 1). Adicionalmente,

FIGURA 10. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO POR ECORREGIÓN 2000



ecoregiones como las Planicies Aluviales del Misisipi y Costeras del Sureste (8.5) y las Planicies Costera de Texas-Luisiana (9.5) presentan la mayor población entre todas, con más de siete millones cada una (figura 10).

Estados Unidos de América concentra más del 50% de la población del Golfo y una proporción semejante de la superficie. Sin embargo, y descontando que comparte dos ecoregiones, México tiene casi el doble de diversidad de ecoregiones, es decir: con menor superficie contiene más paisajes y por tanto una mayor diversidad de ecosistemas y seguramente de especies (cuadro 2). La asimetría tiene entonces dos dimensiones: se expresa en la magnitud de la población y de la superficie, lo que hace evidente que la costa de EE.UU. tenga una mayor influencia en la región; y en el lado mexicano (figura 11) concentra mayor multiplicidad de paisajes, lo que conlleva una mayor biodiversidad.

CUADRO 2. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO (2000)

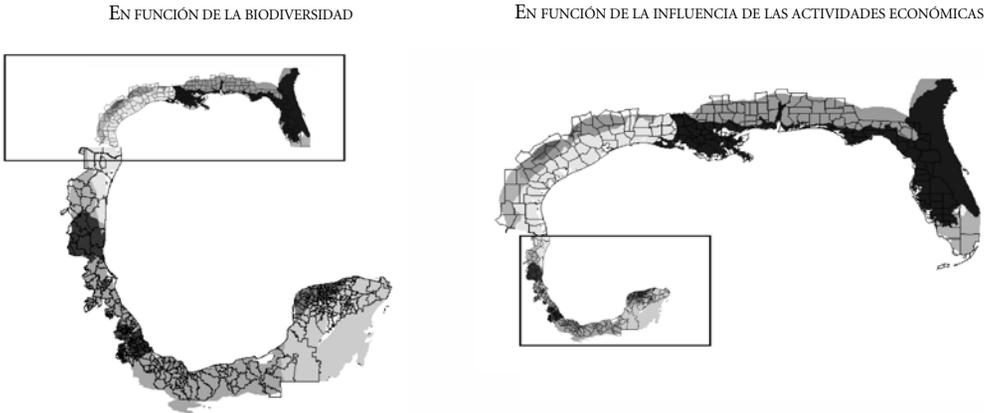
	ESTADOS/ MUNICIPIOS		POBLACIÓN 2000		SUPERFICIE		ECORREGIONES*	
	PROVINCIAS	CONDADOS			(KM ²)			
Estados								
Unidos	5	162	20,933,975	54.10%	328,420	52.22%	5	33.33%
México	6	357	13,464,218	34.80%	245,553	39.05%	10	66.67%
Cuba	3	62	4,293,639	11.10%	54,891	8.73%	2	13.33%
Total			38,691,832	100.00%	628,864	100.00%	15	100.00%

* Dos ecoregiones son compartidas por los Estados Unidos de América y México, por lo que se cuentan dos veces.

Como veremos más adelante, la población en las costas de México y en particular en las del Golfo de México y el Caribe está concentrándose en localidades urbanas a un ritmo sorprendente. Independientemente de que exista una población total que puede o no considerarse grande (más de 38 millones en el año 2000), la tasa de crecimiento poblacional y simultáneamente su concentración en localidades urbanas es un proceso significativo por sus implicaciones para el medio ambiente. De los diez municipios y condados con más alto crecimiento de la región, cuatro de ellos son de Estados Unidos y seis de México. El municipio donde se encuentra Cancún (Benito Juárez), en Quintana Roo, presentó el mayor crecimiento de todo el Golfo: duplicó su población en sólo diez años, aumentando en más de 200 mil personas, lo que en términos de satisfacción de necesidades o retos municipales, significa un incremento sustantivo en cuanto a demanda de servicios públicos (agua, vivienda, etc.) y de consumo en general (cuadro 3). Algo semejante pasó en el condado de Montgomery, Texas, cuya población aumentó 30% en la última década. Esto habla de que en general, la concentración, migración y crecimiento natural de la población en el Golfo de México sigue a ritmos altos y relativamente homogéneos, de aquí que no habría que esperar una estabilización de la población.

CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO Y DESARROLLO ECONÓMICO: EL CASO DE MÉXICO

FIGURA 11. PESO RELATIVO DE LA ZONA COSTERA EN EL GOLFO DE MÉXICO



En los siguientes párrafos nos interesa mostrar de un modo muy sucinto la forma en que se dio el proceso de urbanización de la costa del Golfo de México, poniendo particular atención a Veracruz, la entidad que más litoral ocupa. Nuestro objetivo es examinar algunos indicadores económicos y demográficos a fin de ofrecer las bases para comprender la naturaleza de los problemas ambientales que suscita el desarrollo urbano en las áreas costeras, al mismo tiempo que explorar los futuros retos que representan estas tendencias.

La urbanización reciente de México, que es el resultado de la interacción entre crecimiento demográfico y crecimiento económico, se halla asociada a la geografía de los mercados, y a la distribución de las rutas de transporte y de la fuerza de trabajo (Brambila 1992). La expansión de las áreas urbanas es fruto en este sentido tanto del crecimiento natural de su población como de lo que se conoce como crecimiento social: la migración. La población se desplaza siguiendo líneas de comunicación, redes de información y de apoyo. La movilidad de la población tiene varias causas, pero la más importante sin duda es el empleo. Una ciudad deviene atractiva para el emigrante desde el momento en que en ella es posible encontrar empleo bien remunerado. Por el contrario, una ciudad expulsa población a partir del momento

CUADRO 3. MUNICIPIOS Y CONDADOS CON MAYOR CRECIMIENTO POBLACIONAL
DEL GOLFO DE MÉXICO 1970-2000

MUNICIPIO /CONDADO	POBLACIÓN 2000	DENSIDAD	ECO- REGIÓN	AUMENTO 1980-90	AUMENTO 1990-2000	TASA 1970- 1980	TASA 1980- 1990	TASA 1990- 2020
Benito Juárez (Q. Roo)	419,815	182.93	15.2	139,575	243,050		16.87	9.04
Cosoleacaque (Ver)	97,437	355.61	15.1	2,955	50,711	7.86	0.66	7.63
Ixtlahuancillo (Ver)	11,914	229.12	13.4	2,650	5,361	1.23	5.32	6.16
Sumter (Florida)	53,345	35.28	8.5	7,305	21,768		2.67	5.38
Collier (Florida)	251,377	45.58	15.4	66,128	99,278		5.87	5.15
Tlalnelhuayocan (Ver)	11,484	319.00	13.4	2,368	4,521	3.78	4.24	5.13
Montgomery (Texas)	293,768	105.63	8.3	53,714	111,567		3.55	4.89
Wakulla (Florida)	22,863	13.85	8.5	3,315	8,661		2.69	4.88
Kanasin (Yuc)	39,191	388.03	14.2	17,392	14,688	1.25	13.17	4.81
Nacajuca (Tab)	80,272	152.61	15.1	20,970	29,481	3.18	5.47	4.68

en que las fuentes de ocupación cierran sus puertas y los trabajadores encuentran dificultades para seguir empleados de modo estable y con remuneraciones decorosas. En el curso de las últimas décadas, las ciudades han atravesado, desde el punto de vista demográfico periodos de expansión, estancamiento y contracción, los cuales a su vez son resultado de la dinámica de los mercados de trabajo. Por su parte, éstos se hallan determinados por las lógicas de inversión y rentabilidad del capital.

Los factores de localización de las empresas varían en el curso del tiempo: durante una etapa, buscan situarse cerca de los consumidores nacionales; durante otra, buscan ubicarse cerca de los mercados de exportación. Durante una época, procuran estar cerca de las materias primas y los suministros de energía; durante otra, más que buscar acercarse a la fuerza de trabajo barata o calificada, se proponen atraer a emigrantes necesitados, provenientes incluso de parajes lejanos. Según el sector al que pertenezca, una empresa sigue lógicas de localización específicas: en algunos casos, requiere estar cerca de una red de proveedores, con los cuales arma un eslabón; en otros, la empresa puede importar sus insumos desde puntos lejanos, operando a la manera de

un enclave, sin vínculos con los productores de la región donde se instala.

Cada una de las ciudades que estamos incorporando en nuestro análisis, forma parte de una región (un subsistema) dentro del sistema urbano nacional. En este sentido, cada ciudad se halla articulada por una red de relaciones en la que hay una jerarquía, esto es, un orden en el que una ciudad principal influye en el desempeño de todas las que forman parte del subsistema. Así, cabe advertir los siguientes subsistemas con sus respectivos nodos ordenadores:

- a) Subsistema del Noreste: Monterrey, Tampico, Ciudad Madero, Matamoros, Nuevo Laredo, Ciudad Victoria, Reynosa, Ciudad Valles, Ciudad Mante, Linares, Cadereyta.
- b) Subsistema Golfo: Veracruz, Villahermosa, Xalapa, Córdoba, Orizaba, Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque, Poza Rica, Tuxpan, Cárdenas, Comalcalco, Frontera, Tenosique, Cosamaloapan.
- c) Subsistema Península de Yucatán: Mérida, Campeche, Cancún, Ciudad del Carmen, Chetumal, Progreso, Champotón, Escárcega, Valladolid, Carrillo Puerto, Ticul.

La suerte de las ciudades se halla íntimamente ligada a la vida económica del país. Cuando la economía nacional crece, las ciudades se expanden. No obstante, el modelo de crecimiento económico puede estimular el desarrollo de ciertas regiones, y contribuir al escaso desarrollo de otras. La dinámica de cada subsistema urbano depende de la forma en que cada región se incorpora al desarrollo económico nacional. En este sentido, el proceso de urbanización de las costas debe contemplarse considerando a cada ciudad como parte de una red de relaciones económicas. Los tiempos de expansión de cada área urbana, dependen de ello.

Como puede verse en el cuadro 4, en los años cincuenta todo el sistema urbano nacional crece a un ritmo acelerado (6.14% anual). Sin embargo, los sistemas urbanos situados en los litorales siguen dinámicas específicas. En la zona costera del Golfo (ver cuadros 5 y 6 y figura 12), las ciudades que registran tasas de crecimiento altas lo hacen en virtud de que la extracción y procesamiento del petróleo lo exigen. Estas ciudades se encuentran en el norte (con Poza Rica como nodo dinamizador); en esos años, el comercio fronterizo contribuyó a un acelerado crecimiento de Matamoros y Reynosa. En el otro extremo, en el sur, el petróleo también contribuyó a la expansión de Coatzacoalcos. Gracias al comercio, empezaron a desarrollarse ciudades pequeñas como: Chetumal y Ciu-

CUADRO 4. CRECIMIENTO MEDIO ANUAL DE LA POBLACIÓN TOTAL,
URBANA Y URBANA EN COSTAS (%)

PERÍODO	TOTAL NACIONAL	TOTAL URBANA	URBANA EN COSTAS	ATLÁNTICO	PACÍFICO
1900-1910	-1.09	1.96	3.83	3.89	3.68
1910-1921	-0.51	1.07	1.80	3.18	-2.53
1921-1930	1.61	4.00	4.66	4.04	7.10
1930-1940	1.73	3.04	3.13	2.23	5.75
1940-1950	2.75	5.89	7.23	5.49	10.64
1950-1960	3.08	6.14	6.73	5.45	8.43
1960-1970	3.28	5.33	6.61	6.76	6.44
1970-1980	3.32	5.16	5.10	5.48	4.63
1980-1990	1.97	2.75	3.84	3.50	4.26
1990-1995	2.33	3.30	3.64	3.27	4.07

dad del Carmen. El sistema urbano de la península de Yucatán registró en realidad un escaso desarrollo; Mérida apenas creció; el turismo tuvo un desarrollo incipiente y Cancún todavía no aparecía en el horizonte.

En los años sesenta, se registró una década de gran crecimiento urbano en las costas del Golfo. En el norte, Poza Rica continuó con su expansión, aunque ahora con menor velocidad; su dinámica también arrastró a Tuxpan. La zona metropolitana de Tampico, también vinculada al petróleo, absorbió parte del ímpetu de la industria petrolera. En el sur, Coatzacoalcos mantuvo su ritmo de crecimiento y Villahermosa comenzó en esos años un proceso de expansión acelerado; Cárdenas, en la misma entidad, empezó a dejar de ser una localidad rural; Campeche y Ciudad del Carmen, registraron en esos años altas tasas de crecimiento.

En los años ochenta, la economía nacional atravesó por un periodo de crisis. El agotamiento del modelo de industrialización por sustitución de importaciones suscitó un cambio en el proceso de urbanización a nivel nacional. Las principales ciudades parecen contar con menos oportunidades de desarrollo económico y eso detiene los flujos migratorios hacia ellas. Algunas ciudades que habían crecido en las últimas décadas detuvieron su

CUADRO 5. DINÁMICA DE LAS LOCALIDADES URBANAS (1900-2000)

AÑO	TOTAL		URBANA EN COSTAS				ATLÁNTICO				PACÍFICO			
	NACIONAL	URBANA	TOTAL	%	No. DE LOC.	TOTAL	%	No. DE LOC.	TOTAL	%	No. DE LOC.	TOTAL	%	No. DE LOC.
1900	13,607,259	1,675,905	166,915	9.96	9	116,759	69.9	5	50,156	30.1	4			
1910	15,160,369	2,035,828	242,988	11.94	11	171,005	70.4	6	71,983	29.6	5			
1921	14,334,780	2,288,156	295,651	12.92	10	241,325	81.6	7	54,326	18.4	3			
1930	16,552,722	3,257,950	445,291	13.67	16	344,534	77.4	10	100,757	22.6	6			
1940	19,653,552	4,396,784	606,033	13.78	23	429,734	70.9	12	176,299	29.1	11			
1950	25,791,017	7,796,090	1,218,223	15.63	39	733,513	60.2	19	484,710	39.8	20			
1960	34,923,129	14,150,370	2,335,825	16.51	56	1,246,772	53.4	26	1,089,053	46.6	30			
1970	48,225,238	23,781,346	4,430,575	18.63	90	2,397,672	54.1	50	2,032,903	45.9	40			
1980	66,846,833	39,316,903	7,283,993	18.53	117	4,088,175	56.1	68	3,195,818	43.9	49			
1990	81,249,645	51,591,221	10,615,971	20.58	152	5,765,953	54.3	84	4,850,018	45.7	68			
1995	91,158,290	60,687,878	12,692,622	20.91	175	6,773,052	53.4	92	5,919,570	46.6	83			
2000	97,483,412	63,234,553	13,666,236	21.6	209	7,130,493	52.2	118	6,535,743	47.8	91			

CUADRO 6. TAMAÑO DE LAS LOCALIDADES COSTERAS (2000)

TAMAÑO DE LA CIUDAD	TOTAL NACIONAL		COSTA DEL ATLÁNTICO		COSTA DEL PACÍFICO	
	NUM. DE LOCALIDADES	POBL. TOTAL	NUM. DE LOCALIDADES	POBL. TOTAL	NUM. DE LOCALIDADES	POBL. TOTAL
de 10,000 a 15,000	65	787,024	31	368,869	34	418,155
de 15,000 a 50,000	98	2,604,132	63	1,722,860	35	881,272
de 50,000 a 100,000	17	1,267,601	7	515,365	10	752,236
de 100,000 a 500,000	24	5,484,916	16	3,860,869	8	1,624,047
de 500,000 y mayores	5	3,522,563	1	662,530	4	2,860,033
Total	209	13,666,236	118	7,130,493	91	6,535,743

Fuente: Gutierrez *et al.* 1999 y CONAPO 2000.

dinamismo y llegaron incluso a perder población, como es el caso de Poza Rica. En su conjunto, las ciudades del nordeste disminuyeron su expansión. La crisis petrolera afectó también a Coatzacoalcos; sus tasas de crecimiento, que habían sido del 5% en promedio en los años previos, se redujeron a la mitad. En el sur se registró la aparición de un nuevo emporio urbano: Cancún, que surgió prácticamente de la nada. Mérida, a su lado, interrumpió su dinámica; y Ciudad del Carmen también se detuvo.

En los años noventa, el reordenamiento de la actividad petrolera siguió su curso y suscitó que ciudades como Coatzacoalcos, que ya habían disminuido su crecimiento, ahora incluso pierdan población. En cambio, Ciudad del Carmen repuntó y se constituyó como el nuevo nodo de desarrollo petrolero. Ante el desplome de la actividad industrial en la región, los servicios empezaron a desempeñar un papel importante en el desarrollo económico. Destacan Cozumel y sobre todo Cancún como zonas turísticas altamente dinámicas. En el norte, las ciudades fronterizas Reynosa, Matamoros, Laredo, lograron mantener tasas de crecimiento elevadas: su posición geográfica favoreció su desarrollo comercial e incluso industrial gracias a la maquila. La zona metropolitana de Tampico logró un moderado crecimiento gracias a la vida del puerto de Altamira, que dinamizó el desarrollo industrial. Igual ocurrió con Veracruz, donde el puerto logró reactivar la vida económica de la ciudad.

Como sabemos, en los años noventa la economía del país transitó hacia

un nuevo modelo de desarrollo. Ya desde mediados de los años ochenta habían empezado a introducirse medidas tendientes a liberalizar el comercio y a recortar la presencia del estado en la economía. La exportación de hidrocarburos sin dejar de ser importante, pasó a un segundo término y aparecieron otras actividades con mayor dinamismo exportador. La industria maquiladora, el turismo y los puertos se configuraron como los sectores que más empleo proporcionan. La población, ante la crisis de las manufacturas tradicionales y el ajuste laboral del sector público que suscitó la aplicación de las políticas económicas liberales, empezó a buscar ocupación en las ciudades fronterizas e incluso en el mercado de trabajo norteamericano. El empleo informal en las áreas urbanas también experimentó un crecimiento significativo. La caída de los ingresos entre la población trabajadora se tradujo en una expansión de la pobreza.

En el curso de estos años, asistimos a una redefinición de los patrones de migración en las ciudades costeras del atlántico. De acuerdo con Cabrera (1993), en la región costera del Golfo y el Caribe las localidades de más de 100 mil habitantes, en los años 70-90, crecieron a una tasa media anual de 4.92%, mientras que las de menor tamaño, lo hicieron a una tasa de de 2.18%. De ello se deriva que haya existido una corriente migratoria de localidades menores a mayores dentro de la misma región. Según este autor, se descarta que los pobladores de estas localidades de menor tamaño hayan migrado al territorio no costero de sus propios estados litorales, ya que su población creció a una tasa aun menor, 2.05%. En conclusión, las localidades de más de cien mil habitantes están creciendo, en promedio, cerca de tres veces más que la población que habita en localidades de menos de cien mil habitantes, fundamentalmente alimentadas por su propia población regional.

Hasta 1990, las ciudades más atractivas, donde la inmigración acumulada fluctuaba entre 191 mil y 133 mil personas, fueron tres: ZM Tampico, ZM Coatzacoalcos y Cancún. En ellas se concentraban 451 mil inmigrantes, correspondiente al 35% del total de los inmigrantes en estas costas. Durante el periodo de 1965 a 1970 destacaban Tampico y Campeche por el número de inmigrantes que recibieron, 25 mil y 20 mil personas respectivamente. La zona metropolitana de Tampico ha logrado mantener su poder de atracción, en cambio Campeche lo ha reducido y su lugar lo ocupan otras ciudades (Gutiérrez y González 1999). En los años noventa, seis localidades se habían convertido en zonas atractivas: Reynosa, Nuevo Laredo, Matamoros, Veracruz, Mérida y Villahermosa y en su conjunto sumaron 427 mil inmigrantes. Con las tres primeras, sumaban el 70% de los inmigrantes del

Atlántico. Son tres los factores que las hacen atractivas: petróleo, comercio fronterizo y turismo. Las ciudades de la península explicaban su crecimiento poblacional por la inmigración: más del 50% de sus habitantes no nacieron en ellas.

En el curso de la última década del siglo XX, las ciudades costeras parecen haber consolidado su ordenamiento. Como puede verse en los cuadros 7 y 8, las principales localidades que definen los lugares centrales de los diversos subsistemas están claramente definidas: a un lado, los asentamientos fronterizos, del otro, las viejas localidades petroleras, por último los centros portuarios y turísticos. La jerarquía de los asentamientos muestra que en el Golfo, a diferencia del Pacífico, las localidades que oscilan entre 15 mil y 50 mil habitantes poseen mayor importancia, lo cual es signo de una mayor condensación de la población urbana en el litoral occidental, y de una mayor dispersión en el Atlántico.

Como hemos apuntado, la dinámica demográfica refleja los avatares de la economía. Esta determina la movilidad de la población a través de las oportunidades que abre el mercado de trabajo. ¿Cuál ha sido la manera en que las economías urbanas del Golfo han respondido al nuevo escenario económico creado por la apertura comercial y el repliegue del Estado? Una primera aproximación a esta cuestión consiste en el examen temporal de la distribución por rama de la población ocupada. ¿De qué forma cambia la aplicación de las energías laborales en el curso de una década de cambios productivos? Con apoyo en evidencias producidas entre 1987 y 1997 por la Encuesta Nacional de Empleo Urbano (ENEU), podemos apreciar las transformaciones más relevantes experimentadas por las principales áreas urbanas del Golfo. Nuestro análisis centra su atención en primer lugar en las ciudades donde el sector petrolero y petroquímico ha tenido relevancia.

Así, cabe apreciar en primer término los cambios experimentados por la economía del área urbana de Tampico-Madero-Altamira. De 1987 a 1992 observamos una pérdida importante de la población ocupada en actividades petroleras. De absorber el 15% de la PEA en 1987, pasa al 8.5% en 1992, para reducirse al 5% en 1997. Las manufacturas han mantenido una cierta estabilidad en el curso del periodo, girando alrededor del 12%. La pérdida de importancia del petróleo dió origen al crecimiento de otras ramas: el comercio pasó del 16.5% en 1987 al 21% en 1997; y los servicios (no financieros ni gubernamentales) pasaron del 23.2% en 1987 al 28.8% en 1997.

Para las ciudades del sur disponemos de información sólo para el periodo más reciente (1992-1997). Hacia 1990, Pemex declaraba ocupar a 31,050

CUADRO 7. SISTEMA URBANO DEL GOLFO DE MÉXICO: POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO 1990-2000

Núm.	CIUDAD	ENTIDAD (ES)	POBLACIÓN				TASA DE CRECIMIENTO (%)			
			1990	1995	2000	1990-1995	1990-1995	1995-2000	1990-2000	
Rango nacional	República Mexicana		81 249 645	91 158 290	97 483 412	2.1	1.6	1.9		
	Total urbano nacional		50 629 952	58 448 196	63 234 553	2.6	1.9	2.3		
15	Total urbano del Golfo Zm Tampico	Tamaulipas-	4 530 564	5 343 848	5 855 912					
		Veracruz	567 334	620 012	664 692	1.6	1.6	1.6		
16	Heroica Matamoros	Tamaulipas	266 055	323 794	376 279	3.5	3.6	3.6		
17	Nuevo Laredo	Tamaulipas	218 413	273 797	308 828	4.1	2.9	3.6		
20	Zm Mérida	Yucatán	658 452	772 645	842 188	2.9	2.0	2.5		
24	Zm Coatzacoalcos	Veracruz	573 263	627 052	612 808	1.6	-0.5	0.7		
25	Zm Veracruz	Veracruz	473 156	560 200	593 181	3.0	1.3	2.3		
33	Zm Poza Rica	Veracruz	198 810	209 214	211 405	0.9	0.2	0.6		
43	Reynosa	Tamaulipas	265 663	320 458	403 718	3.4	5.5	4.3		
44	Cancún	Quintana Roo	167 730	297 183	397 191	10.7	7.0	9.1		
45	Villahermosa	Tabasco	261 231	301 238	330 846	2.6	2.2	2.4		
56	Campeche	Campeche	150 518	178 160	190 813	3.0	1.6	2.4		
64	Ciudad del Carmen	Campeche	83 806	114 360	126 024	5.7	2.3	4.2		
65	Chetumal	Quintana Roo	94 158	115 152	121 602	3.6	1.3	2.6		

(Continúa)

CUADRO 7. SISTEMA URBANO DEL GOLFO DE MÉXICO: POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO, 1990-2000

NÚM.	CIUDAD	ENTIDAD(ES)	POBLACION			TASA DE CRECIMIENTO (%)		
			1990	1995	2000	1990-1995	1995-2000	1990-2000
68	Ciudad Valles	San Luis Potosí	91 402	102 226	105 721	2.0	0.8	1.5
84	Cárdenas	Tabasco	61 017	72 739	78 637	3.2	1.8	2.6
88	Tuxpam de Rodríguez Cano	Veracruz	69 224	74 692	74 527	1.4	-0.1	0.7
101	Cozumel	Quintana Roo	33 884	47 841	59 225	6.3	5.1	5.8
120	Papantla de Olarte	Veracruz	46 075	49 916	48 804	1.4	-0.5	0.6
123	Acayucan	Veracruz	43 383	49 256	47 826	2.3	-0.7	1.0
129	Playa del Carmen	Quintana Roo	3 098	17 621	43 613	36.1	23.6	30.5
135	Choapas, Las	Veracruz	43 868	42 132	41 426	-0.7	-0.4	-0.6
156	Pánuco	Veracruz	29 817	33 122	34 192	1.9	0.7	1.4
190	Cosamaloapan	Veracruz	26 751	28 520	28 496	1.1	0.0	0.6
212	Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río	Veracruz	25 593	25 586	25 909	0.0	0.3	0.1
229	Isla	Veracruz	18 484	22 315	24 036	3.4	1.8	2.7
233	Catemaco	Veracruz	21 260	22 965	23 631	1.4	0.7	1.1
242	Alvarado	Veracruz	23 411	23 776	22 608	0.3	-1.2	-0.4
319	José Cardel	Veracruz	14 708	17 876	17 686	3.5	-0.2	1.9

CUADRO 8. CIUDADES COSTERAS DE MAYOR JERARQUÍA EN 1995

CIUDADES MUY GRANDES		CIUDADES GRANDES			
PACÍFICO	POBLACIÓN	PACÍFICO	POBLACIÓN	ATLÁNTICO	POBLACIÓN
1. Tijuana	966,097	1. Mazatlán	302,888	1. Matamoros	323,794
2. Acapulco	592,528	2. Cd. Obregón	244,028	2. Reynosa	320,458
3. Culiacán	505,518	3. Ensenada	192,550	3. Villahermosa	301,238
4. Mexicali	505,016	4. Los Mochis	188,349	4. Cancún	297,183
		5. Guaymas Z.M.	183,232	5. Nuevo Laredo	273,797
		6. Tapachula	163,253	6. Poza Rica Z.M	191,488
ATLÁNTICO					
1. Mérida Z.M.	772,645	7. La Paz	154,314	7. Campeche	178,160
2. Tampico Z.M.	705,302	8. Puerto Vallarta	121,844	8. Cd. Valles	102,226
3. Coatzacoalcos Z.M.	627,052	9. San Luis Río Colorado	115,596	9. Chetumal	115,152
4. Veracruz Z.M.	560,200			10. Cd. del Carmen	114,360

Fuente: Gutierrez *et al.* 1999.

trabajadores en sus complejos y refinerías, mientras que el sector privado de la rama de sustancias químicas registraba a cerca de seis mil trabajadores. En 1992, la ENEU apunta a poco más de 22 mil trabajadores en la rama de extracción y refinación y un poco más de 13 mil en la industria de la transformación como conjunto. Los cambios que se operan en esta zona son, como ya hemos advertido, muy rápidos y significativos. En Coatzacoalcos, según la ENEU, el sector petrolero pasó de absorber el 19% de la población ocupada en 1992 a sólo el 12.2% en 1997. Las manufacturas son afectadas por este proceso: pasaron del 11.1% al 7.3% en el mismo lapso. Simultáneamente, el comercio y los servicios se incrementaron: pasaron, el primero, del 18.8% al 20.4% y los últimos, del 23% al 27.5%. En el caso de Villahermosa, la población ocupada observó también cambios notables: el petróleo pasó de absorber el 8.1% al 5.2% del total; no obstante, las manufacturas crecieron ligeramente, al pasar del 8.2% al 8.7%; los servicios, por su parte, experimentaron un ligero aumento, al pasar del 28% al 30%.

Desde una perspectiva global, la reestructuración de los escenarios económicos en la región significa el rediseño de las opciones de empleo para la población trabajadora. Al alterarse los patrones de inserción ocupacional, se despliega un complejo proceso de reordenamiento de la movilidad laboral. Las poblaciones rurales que en el periodo anterior se desplazaron hacia las áreas urbanas en busca de un empleo asalariado, encontraron un espacio abierto en el sector manufacturero, pero desde 1985 encuentran límites para incorporarse a la economía urbana en ese sector y tienden a incorporarse —cada vez menos como asalariados y con más frecuencia como trabajadores informales, por cuenta propia, es decir, como autoempleados— en el sector terciario (servicios y comercio). De hecho, la frontera norte y el mercado laboral norteamericano representan en el umbral del siglo XXI una opción de empleo cada vez más importante no sólo para los trabajadores de origen rural sino también para los trabajadores de origen urbano.

Para apreciar con más profundidad la naturaleza de los cambios en los patrones de movilidad, es preciso examinar las estrategias laborales seguidas por las familias para recuperar sus niveles de ingreso en un contexto de escaso crecimiento económico, inflación y recorte o estancamiento del empleo industrial. El desplome de los ingresos de la población masculina se halla asociada a la entrada de miles de mujeres al mercado de trabajo y representa uno de los aspectos más relevantes del nuevo proceso de reestructuración.¹

Al cabo de varios años de reorganización económica, se advierte que la población trabajadora urbana con un ingreso inferior a los dos salarios mínimos oscila alrededor del 40%. La pobreza al cabo de varias décadas de desarrollo parece incrementarse. Como podemos apreciar en el cuadro 4, en el año 2000 los municipios más poblados de la región costera (que son generalmente los más urbanizados) han logrado atender, en su mayor parte, sus necesidades de agua, drenaje y electrificación. Salvo algunas notables excepciones (Ciudad del Carmen, Minatitlán, Tuxpan, y Altamira), el rezago en infraestructura ha logrado abatirse. Sin embargo, en estos municipios, los niveles de ingreso siguen siendo bajos, y la mayor parte de los hogares habita bajo condiciones de hacinamiento. Los niveles de escolaridad suelen ser bajos y esto repercute en las opciones de superación de la pobreza.

De alguna manera, la problemática ambiental de las ciudades de las costas del Golfo se halla determinada por la pobreza que embarga a sus habitantes. Si los mercados urbanos de trabajo poseen límites severos para elevar las remuneraciones salariales, también es preciso advertir que las

economías urbanas enfrentan límites significativos para atender los problemas ambientales que ha generado el desarrollo. Los costos sociales del desarrollo económico se han venido convirtiendo en costos ambientales. Las ciudades petroleras, cuya importancia hemos venido destacando, acumulan pasivos ambientales después de varias décadas, y lo mismo cabría decir de las ciudades portuarias y turísticas. La problemática ambiental que enfrentan las ciudades fronterizas, muy vinculada al desarrollo de las industrias maquiladoras, también ha crecido de manera acelerada y hasta ahora no ha sido atendida. Ahora examinaremos desde una perspectiva teórica los impactos que cada una de estas ciudades deberá encarar.

LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL DESARROLLO URBANO

En las últimas décadas, la sociedad mexicana ha atravesado por diversos momentos críticos que han deteriorado las posibilidades de acceder al bienestar de vastos contingentes de población. Estos momentos críticos han dejado huellas en el espacio. En el espacio queda claro que existen regiones deprimidas, barrios pobres, áreas marginadas. En tiempos de crisis, los espacios pobres se expanden, sea para absorber a los trabajadores asalariados que la industrialización había beneficiado, sea para asimilar incluso a la clase media depauperada.

Al terminar el siglo XX, la población que habita en áreas claramente urbanas (más de 50 mil habitantes) representa en México ya al 67% de un total demográfico de casi 100 millones. El acelerado proceso de urbanización que ocurrió en la segunda mitad de esa centuria, impulsado por un rápido crecimiento demográfico, suscitó la expansión de las ciudades. Naturalmente, gran parte de esta expansión se dio sobre extensiones originariamente rurales. Ante una dinámica de rápido crecimiento que desbordó a los agentes productores de espacio habitacional, millones de personas tuvieron que asentarse sobre periferias urbanas.

En el año 2000, el sistema urbano nacional contaba con alrededor de 14.8 millones de hogares; se estima que de éstos, 500 mil hogares (3%) no tenían una casa que habitar y cerca de 3.5 millones (24%) se vieron obligados a ocupar el suelo de manera irregular. Estos datos reflejan la incapacidad del mercado del suelo para atender a cerca de 27% de las necesidades de vivienda del sistema urbano nacional (SEDESOL 2002). El hacinamiento y los asentamientos irregulares son los patrones que mayor impacto tienen en el desarrollo de la ciudad, ya que inciden negativamente sobre la salud, la cohesión

social, las finanzas municipales y la conservación del medio ambiente.

Para los ciudadanos de los estratos altos, el asentamiento en las orillas de la ciudad puede brindar condiciones de vida menos agobiadas; por su nivel de ingresos, pueden asumir sin mayor dificultad los costos adicionales del transporte. Para los ciudadanos de escasos recursos, situarse en la periferia puede representar una opción en apariencia “económica”, pero cuyo costo oculto consiste en el alejamiento respecto del equipamiento y los servicios necesarios para su reproducción. Esta expansión periférica es a la vez espontánea y deliberada, y es resultado de varios procesos concomitantes. De un lado, ante la escasa oferta de suelo y vivienda accesible a los sectores populares por parte del Estado y el mercado inmobiliario, y del otro, ante la inevitable búsqueda de vivienda a bajo costo, la expansión de los asentamientos periféricos irregulares ha sido la nota dominante.

Cuando el crecimiento de una ciudad se produce de forma incontrolada, algo típico de las ciudades pobres, la periferia urbana se amplía a menudo hasta convertirse en una mezcla de asentamiento ilegales, complejos de viviendas baratas, terrenos agrícolas (algunos abandonados, otros cultivados intensamente o destinados a la ganadería), industrias de pequeña escala y vertederos de basura. La expansión física y dispersa de la ciudad, genera un territorio de transición donde se presentan problemas como el despilfarro de un recurso escaso (el suelo), el deterioro ambiental (degradación de cuerpos de agua y tierras productivas) y el encarecimiento de las infraestructuras (dispersión y alejamiento de los pobladores respecto de las redes ya establecidas, crecientes gastos en transporte) (Tudela 1991). Para los habitantes pobres de la ciudad, la periferia representa no sólo una posición geográfica sino una situación social: estar al margen.

Situarse a orillas de la ciudad implica asentarse lejos de bienes y dispositivos que garantizan no sólo equipamientos e infraestructuras, sino también empleo, seguridad y estatus. La periferia, los suburbios, han devenido, en muchas ciudades, espacios duales, áreas donde lo mismo pueden hallarse espacios habitacionales privados de muy alta calidad que áreas residenciales muy empobrecidas: paisajes de la supervivencia, de la ilegalidad, de la clandestinidad; espacios de la delincuencia, de la migración, barrios degradados, deprimidos y peligrosos.

Diversos investigadores han observado que los problemas ambientales urbanos experimentan una variedad de transformaciones, algunas de las cuales pueden ordenarse en una serie de estadios. La fase inicial consiste en la presencia de organismos biológico patógenos los cuales pueden surgir de un

inadecuado saneamiento, el escaso abasto de agua limpia o el mal manejo de aguas residuales. En particular, el inadecuado tratamiento de las excretas es un problema. Más tarde, se observan estadios de contaminación, los cuales incluyen aquellos generados por la industria, como humos y solventes. Esta transición ha sido asociada también con la “transición epidemiológica”, o movimiento desde enfermedades infecciosas en las ciudades (como el cólera) a las enfermedades o situaciones crónicas, como el envenenamiento por plomo o la malnutrición.

En teoría, podría esperarse que las ciudades experimenten una fluida transición de una fase a otra. Sin embargo, para algunas ciudades o segmentos de la sociedad la transición a las últimas fases puede ocurrir antes que para el conjunto del país. La población pobre de algunas ciudades puede así continuar hallándose expuesta a organismos patógenos luego de que partes mejor situadas de la ciudad han adoptado mejores sistemas sanitarios. En algunos casos, los riesgos industriales pueden coexistir con problemas de saneamiento.

Las instituciones vinculadas con la tenencia de la tierra y vivienda tienen influencia en la exposición de la población pobre a riesgos ambientales. Los migrantes recientes que enfrentan amenazas de expulsión poseen pocos incentivos para adoptar mecanismos de protección o realizar inversiones en agua y saneamiento. Con frecuencia, los pobres también construyen viviendas en lugares que se hallan expuestos a riesgos e impactos ambientales, por ejemplo, tierras expuestas a deslizamientos o inundaciones, o cerca de vertederos municipales.

Algunos de estos problemas son, para los pobres urbanos, relativamente nuevos o se hallan alejados de su experiencia, y en consecuencia no saben cómo atenderlos. Incluso, algunos de estos problemas, como la contaminación o el envenenamiento con solventes o plomo, son difíciles de identificar o detectar como causa de síntomas. De manera semejante a lo que sucede al interior de las ciudades, su área de influencia y el tipo de influencias se está expandiendo y modificando. Por un lado, estarían las sustancias que salen de las ciudades, vistas como sólidos (la basura municipal), gases (emisiones industriales por ejemplo) o líquidos (descargas de aguas negras) y por otro los efectos de las crecientes demandas urbanas, incluyendo la expansión agropecuaria para cubrir sus necesidades alimentarias.

Una forma de visualizar que el tipo de influencias de las ciudades sobre el medio ambiente han ido modificándose es considerar que las descargas de aguas negras estén o no tratadas y están incrementándose como consecuencia directa del aumento de la población, aunque simultáneamente se sabe

que la diversidad de las medicinas o sustancias químicas que consume la población también aumenta día con día. Muchas sustancias farmacéuticas como antibióticos, hormonas y otros compuestos orgánicos asociados a repelentes, detergentes, esteroides y desinfectantes, han sido monitoreados en ríos o costas de Estados Unidos de América, demostrando por un lado que las plantas de tratamiento son ineficaces y por otro que la contaminación presente tiene niveles tan insospechados tanto como sus impactos sobre la flora y fauna acuáticas son desconocidos (Kolpin 2002).

Una vez en el medio ambiente, las sustancias descargadas por los drenajes urbanos tienen efectos directos potenciales. El incremento en el consumo de productos farmacéuticos que varían con las capacidades económicas y la misma estructura poblacional son preocupantes. Por ejemplo, con una población dominada por jóvenes como el caso de México, y ante un incremento en el uso de anticonceptivos, aunque no se cuenta con un monitoreo no sería descabellado argumentar que en las descargas estas sustancias están presentes y seguramente incrementarían en volumen, complejidad y efectos. La toxicidad de este tipo de sustancias apenas se está evaluando, pero ya se ha visto que la combinación de efectos sobre la biota marina no es despreciable (Clevers 2003). De manera semejante, y calificadas como “disruptores endocrinos”, en los sedimentos de Japón, Hosokawa *et al.* (2003) encontraron altas concentraciones de sustancias agroquímicos y otros productos tipo dioxinas en casi todas las bahías de ese país. Sus resultados muestran la permanencia de sustancias en concentraciones considerables dentro de los sedimentos de más de 40 años, y resaltan no sólo la necesidad de estudios a profundidad sino de políticas públicas que modifiquen sus efectos. Esto podría explicar ciertos fenómenos como el decremento de la población de ciertas especies, y modificaciones en la proporción de sexos de la vida acuática.

A la par estarían los desechos sólidos urbanos, entre los que son particularmente tóxicos los productos industriales, y de manera genérica aquellos de los que deberían disponerse en rellenos sanitarios. El déficit de depósitos para residuos peligrosos y de rellenos sanitarios es, sin duda, enorme en el país y no menor en el Golfo de México (CONAPO 1999, Semarnap 2000).

Desde el punto de vista de la relación entre estructura económica y pobreza urbana, las ciudades mexicanas enfrentan tres problemas principales: a) la degradación del ambiente urbano tiene un desproporcionado impacto negativo en los pobres; las áreas con más riesgo se encuentran habitadas frecuentemente por ellos; los pobres pagan más por los servicios básicos y la infraestructura; b) la estructura económica configura el marco en el que se

originan los problemas ambientales; la localización de las actividades económicas en y alrededor de las ciudades acentúa la severidad de los problemas ambientales; las variables económicas que influyen en los problemas ambientales son: patrones espaciales de localización de industrias con impactos sobre la salud, eficacia del control sobre la contaminación industrial, usos de la energía, tamaño y naturaleza del sector informal; c) el nivel de la riqueza urbana está asociado a ciertos problemas ambientales; el saneamiento es un problema de las ciudades de bajo ingreso; los residuos peligrosos, la contaminación atmosférica y la escasez de áreas verdes, son problemas prioritarios en las ciudades de altos ingresos. La contaminación de los cuerpos de agua y el inadecuado manejo de los desechos sólidos son problemas que afectan a las áreas urbanas en desarrollo, independientemente del nivel de riqueza.

En suma, a lo largo de estas páginas hemos procurado mostrar, a partir de múltiples evidencias empíricas, las principales bases demográficas, económicas y ambientales que caracterizan al Golfo de México. Podemos sugerir que las asimetrías de este complejo sistema, pueden agruparse en tres grandes dimensiones y procesos. Por un lado, desde el punto de vista demográfico, observamos que el sistema urbano norteamericano, concentra a sus habitantes en una suerte de ciudades (nodos) continuas y relativamente concentradas o uniformes, con poblaciones superiores a los 600 mil habitantes. Por otro lado, en el caso del sistema urbano mexicano se aprecia una mayor dispersión de estos nodos, en general pocas ciudades de más de 600 mil personas, y muchas de menor tamaño y en incremento, cuyos espacios internodales -las propias zonas rurales- contrastan, y que en algunos casos se pueden clasificar y distinguir como nuevos centros urbanos, como sería el caso de las ciudades petroleras.

La presión demográfica que esta peculiar forma de distribución espacial de la población suscita, se halla asociada a la singular forma en que se ha dado el desarrollo económico en ambas zonas del Golfo. Así, desde el punto de vista productivo, observamos que las estrategias de aprovechamiento en ambas zonas muestran ciertas constantes pero también importantes diferencias. Baste recordar el peso de la economía norteamericana como contexto explicativo de estos contrastes, pero como puede verse en la figura 4, el movimiento portuario en ambas naciones registra diferencias significativas. Para Estados Unidos de América, la comunicación entre las zonas industriales de sus dos litorales exige un vasto movimiento de carga a través del canal de Panamá y sobre el mismo Golfo. Para la economía mexicana, en cambio, el movimiento de

carga se cifra fundamentalmente en la exportación de hidrocarburos.

Finalmente, en términos del sistema natural, cabe apreciar que mientras la biodiversidad en el sur del Golfo es mayor respecto a la costa norteamericana, las formas de aprovechamiento y las dinámicas de deterioro siguen patrones distintos.

La pobreza rural y urbana muestra nuevos síntomas y vínculos, la migración a las ciudades costeras ha impuesto nuevos patrones espaciales y el surgimiento de retos para la gestión no sólo de los recursos naturales o la conservación, sino particularmente nuevos retos para los gobiernos locales que enfrentan la necesidad de dotar servicios en condiciones de escasa capacidad financiera, todo lo cual compromete el desarrollo. Las asimetrías entonces también se expresan porque las ciudades norteamericanas enfrentan retos distintos.

En la parte mexicana espacialmente también hay una diferenciación, digamos sectorial. En los últimos años se registra una suerte de “modernización” de las ciudades del Golfo, particularmente las turísticas: modelos de segregación espacial donde los centros históricos se abandonan en aras de una forma de urbanización centrada alrededor de las zonas comerciales para los sectores de altos ingresos que buscan aprovechar las ventajas ambientales y los valores paisajísticos de la costa.

Lo anterior rivaliza con la dinámica de las explotaciones petroleras, que en el siglo XXI adquiere nuevos rasgos y que ha producido al menos dos generaciones de ciudades tipo, pero que no sólo contrasta sino excluye otros intereses sectoriales, como el propio turismo. En un futuro muy próximo quizá veamos nuevos conflictos tanto urbanos como rurales derivados de la explotación de la nueva generación de yacimientos de combustibles, por ejemplo los descubiertos y anunciados por PEMEX frente a costas y en el paleocanal de Chicontepec, el aprovechamiento de gas en el Papaloapan o en la cuenca de Burgos.

La atracción de las ciudades no disminuirá, es el caso de la oferta de empleos de las maquiladoras, que en algún momento se concentraron en la frontera norte y hoy incluso se expanden más allá de la propia ciudad de Mérida. Podemos decir que la comunicación náutica y aérea han borrado y extendido este efecto de frontera.

Como contraparte en el sector agropecuario, en este espacio internodal al que nos referimos, cuenca arriba o en las planicies costeras, algunos cultivos que habían retenido a la población rural de toda la zona (maíz, caña de azúcar, plantaciones frutícolas), empiezan a perder importancia. La pérdi-

da de opciones de empleo en el campo y las restricciones de ocupación en las ciudades están generando flujos migratorios hacia las grandes ciudades de la región. Los programas de conservación o de políticas públicas con miras a construir una plataforma para el desarrollo que desee cubrir los rezagos y pasivos ambientales a la vez que generar nuevas oportunidades económicas tendrán que contemplar estos fenómenos para evitar nuevos fracasos.

CONSIDERACIONES FINALES A MANERA DE RECOMENDACIONES

Las políticas dirigidas a enfrentar los ritmos del deterioro ambiental en el Golfo de México tendrían que dividirse, regionalizarse y complementarse en distintas escalas.

Por un lado, las políticas podrían dirigirse territorialmente, localizarse y dividirse en tres grandes áreas: tierra adentro, litorales y de mar adentro. Por otro lado, deberían complementarse internacionalmente hacia recursos compartidos, tanto terrestres como marinos (como agua, ecoregiones, especies pesqueras o tortugas) y hacia estrategias de conservación de hábitats (como áreas de anidación de aves o reptiles y arrecifes).

Un reto para lo anterior es por supuesto la necesidad de proponer políticas transversales que eviten los efectos negativos de las políticas sectoriales, es decir, los programas que incentivan la ganadería y la expansión de la frontera agrícola se contraponen y anulan las propuestas de conservación y manejo de recursos naturales. En el contexto de los retos asociados al territorio costero, i.e., las planicies o lo que aquí denominamos tierra adentro (las cuencas incluidas), la Federación tiene una responsabilidad y los estados y municipios otras. Los dos primeros niveles de gobierno ejercen sus programas sectorialmente, y generalmente no están armonizados ni unos ni otros.

Incluso al interior de un sector, se desconoce o ignoran ciertos elementos del territorio que aíslan aun más las posibilidades de solución a los problemas, como es el caso de la pesca o de la explotación de petróleo con cuyos pasivos ambientales (la contaminación) y sociales (fenómenos de urbanización y segregación social) es difícil lidiar. En estos sectores no hay una visión de lo costero como aquí se propone, no hay una distinción clara de lo que es plenamente mar adentro y lo que es propiamente litoral, así la explotación de alta mar (petróleo o pesca) sucede independiente de los procesos urbanos en un caso, o de la pesca ribereña en otro. Las instituciones no promueven políticas o soluciones de manera paralela y coordinada entre ambos

espacios geográficos.

En otra dimensión, al interior de lo que denominamos tierra adentro, el espacio y las políticas deberían estar diferenciadas hacia las concentraciones de la población, las zonas urbanas o nodos y hacia los espacios interurbanos. Las políticas para mantener a la población rural en sus respectivos espacios y localidades, con niveles de empleo e ingresos dignos, con alternativas productivas que no extiendan la frontera agropecuaria y que, por el contrario, que garanticen la restauración de cañadas y vegetación natural son inexistentes. Ambos procesos están ligados. En el fondo, tanto en zonas rurales como en áreas urbanas la condición de los ciudadanos está en una seria crisis. De la misma manera en que estos no tienen opciones los gobiernos locales, con la responsabilidad de abastecer y dotar de servicios a una población creciente, tampoco tienen opciones y el rezago aumenta año con año.

Las políticas urbanas y rurales son complementarias, pero particularmente, muchas de las soluciones para potabilizar el agua, distribuirla y luego colectar las aguas negras, son tecnológica y financieramente un cuello de botella. Se requieren políticas públicas que identifiquen soluciones tecnológicas distintas y esquemas financieros de inversión novedosos. Consideramos que es una trampa elusiva de la Federación el hecho de que no desarrolle propuestas de política nacional para problemas que legalmente están en la competencia de los gobiernos locales, como son los casos de la basura y el tratamiento de aguas negras.

NOTAS

1. De acuerdo con estadísticas del INEGI, en 1990 la tasa de participación económica femenina era del 14.5%, mientras que para 1995 era ya del 32.7%. Cf. *Perspectiva estadística de Veracruz*, INEGI, 1997.

BIBLIOGRAFÍA

- Boege, Eckart y Rodríguez, Hipólito 1992. Desarrollo y medio ambiente en Veracruz, CIESAS-Golfo/Fundación Friedrich Ebert/Instituto de Ecología, A.C., México.
- Brambila Carlos 1992. *La expansión urbana en México*, El Colegio de México, México.
- Cabrera, Gustavo, 1993, Las regiones costeras, crecimiento y potencial demográfico. *Demos 6*, México. Se puede consultar en: <http://www.ejournal.unam.mx/demos/>

demos06.html.

- Cleuvers M. 2003. Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters* 142: 185-194.
- Commission for Environmental Cooperation (CEC) 1997. North America Eco-regions: Towards a common Perspective. Montreal, Canadá. 70 pp. www.cec.org.
- Consejo Nacional de Población 1999. La situación demográfica de México, 1999. La situación sociodemográfica de las zonas costeras. Pp. 73-89. Gobierno de México.
- Connolly Priscilla 1997. *El contratista de Don Porfirio, Obras públicas, deuda y desarrollo desigual*. FCE-UNAM, México.
- Damascos, M.A., N.M. Gazia y G.C. Gallopín 1995. Consecuencias de la Transformación de los ecosistemas de la América Latina. Estudios de Caso. En: Gallopín, G.C. *El futuro ecológico de un continente. Una visión prospectiva de la América Latina*. Ed. Universidad de las Naciones Unidas-FCE. Pp 11-121.
- Del Toro Madrueño, J.J. 2002. Fragmentación Geopolítica de la Zona Costera de Norte América: Implicaciones para su manejo y conservación. Tesis. Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. División de Estudios Históricos y Humanos. CUCSH. Universidad de Guadalajara.
- García R. 1986. conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos. En: Leff, E. (coord). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Siglo XXI Editores, México.
- García R. 2000. *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Gedisa, Madrid. 252 pp.
- Gutiérrez T. y González J. 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*. Boletín 40. UNAM, México.
- Hernandez-Santana, J.R. J.M. Martinez-Suarez, C.M. Lorenzo y A.D. González (coord.), 1999. *El Caribe contribución al conocimiento de su Geografía*. Instituto de Geografía Tropical, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba. 240 pp.
- Hosokawa Y., M. Yasui, K. Yoshikawa, Y.Tanaka, M. Suzuki 2003. The nationwide investigation of endocrine disruptors in sediment of harbours. *Marine Pollution Bulletin* 47 (2003) 132–138. Se puede consultar en: www.elsevier.com/locate/marpolbul.
- Kolpin, D. W, E. Furlong, M.T. Meyer, E . M. Thurman, S. D . Zaugg, L.B. Barber y H. T. Buxton 2002. Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999-2000: A National Reconnaissance. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1202-1211.
- León, C., B. Graizbord, R. K. Paisley, E. Bricklemyer y J. J. del Toro 2003. Environmental

- Challenges facing North American Integration: Coastal Zone Management and Landscape Units. Reporte del PIERAN-COLMEX.
- Restrepo, I. (coord.) 1988. *Atlas del Golfo y Caribe de México. Diagnóstico ambiental*. Centro de Ecodesarrollo, Secretaria de Pesca, México.
- Rodríguez Hipólito 2002. Veracruz. Del puerto de la conquista al de la independencia y la modernidad. Ciesas, Universidad Veracruzana, México.
- SEMARNAP 2000. *La gestión ambiental en México*. SEMARNAP, México. 374 pp.
- Stephen V. Smith, Dennis P. Swaney, Liana Talaue-Mcmanus, Jeremy D. Bartley, Peder T. Sandhei, Casey J. McLaughlin, Vilma C. Dupra, Chris J. Crossland, Robert W. Buddemeier, Bruce A. Maxwell y Fredrik Wulff, 2003. Humans, Hydrology, and the Distribution of Inorganic Nutrient Loading to the Ocean. *BioScience* 53(3): 235-245
- Toledo Ocampo, A. 1996. Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México. En: V. Botello, A., J.L. Rojas Galaviz, J.A. Benitez y D. Zarate Lomelí. *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC-Epomex-SEP. Pp. 1-17.
- Toledo, V.M, J. Carabias, C. Toledo y C. Gonzalez-Pacheco. 1989. *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Fundación Universo Veintiuno. 402 pp.
- Transboundary freshwater dispute database 2000. Oregon State University.
- Tudela, F. 1991. Uso del suelo, vivienda y medio ambiente. En: *Los grandes problemas de la ciudad de México*. Plaza y Valdés, México.
- Tudela, F. 1992. *La modernización forzada del Trópico: El caso de Tabasco*. Proyecto Integrado del Golfo. El Colegio de México, CINVESTAV, IFIAS, UNRISD, México. 475 pp.
- UN 1997. *Statistical Yearbook*. UN, Nueva York.
- 1996. National Accounts Statistics: Main Aggregate and Detailed Tables, 1993. Nueva York.
- UNEP 1995. Global Programme of action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities. UNEP(OCA)/LBA/IG.2/7 [http:// www.gpa.unep.org/documents/default.htm](http://www.gpa.unep.org/documents/default.htm)
- Unikel Luis 1978. *El desarrollo urbano de México*. El Colegio de México, México.
- U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Commerce, Census Bureau; Statistics Canada; Transport Canada; Instituto Mexicano del Transporte; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; y Secretaría de Comunicaciones y Transportes, El Transporte de América del Norte en Cifras, BTS00-05, Washington, DC: 2000.
- Vergara Salas, Ignacio 1981. El problema de la contaminación marina producida por el transporte marítimo en la América Latina. En: O. Sunkel y N. Gligo (comps.). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México. Pp 408-429.

LA INVENCIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO

Sergio Guevara Sada

...el que domina el mar domina todas las cosas.
Temístocles

El Golfo de México es un sistema complejo, donde los recursos naturales, la diversidad biológica y la diversidad cultural se acoplan al conjunto atmósfera-océano-tierra-sociedad.

Durante mucho tiempo el Golfo de México, en particular la zona costera ha estado abandonada y ha sido soslayada por los planes de desarrollo y el proyecto de país. En los últimos 90 años ha habido un creciente deterioro ambiental del Golfo de México en menoscabo de su gran potencial productivo y cultural. Esta situación es un reto y una oportunidad para México. El reto es revertir el deterioro que afecta la zona costera de los seis estados mexicanos del Golfo y que tiene consecuencias para cada uno de los cuatro países que con México comparten el Golfo: Canadá, Estados Unidos de América, Cuba y Guatemala.

La oportunidad es hacer que la región del Golfo de México se convierta en una parte sustantiva de la base material de subsistencia y desarrollo de México, por medio del uso racional de la costa y del mar, esto significa crear un nuevo modelo de desarrollo del país, que integre los altiplanos y las costas. Un modelo que haga gravitar la producción en las zonas costeras, y que al disminuir la presión que actualmente tienen los ecosistemas de los

altiplanos, permita recuperar las características y las condiciones de los ecosistemas de las tierras altas y de sus servicios ambientales.

Esta situación y posibilidad han sido expuestas desde la primera Conferencia de Gobernadores de los Estados del Golfo de México, llevada a cabo en 1995, y reiteradas en cada una de las siguientes ocho conferencias que se han realizado alternativamente en México y los Estados Unidos de América, hasta este mismo año. Se ha intentado que estas consideraciones formen parte de los Acuerdos de los Estados del Golfo de México emanados de cada una de las conferencias.

Un resultado halagüeño fue la Primera Reunión Técnica Binacional sobre Ecología y Medio Ambiente en el Golfo de México organizada en septiembre de 1995 con el fin de formar un consorcio de instituciones académicas mexicanas y norteamericanas encargado de integrar una visión ambiental del Golfo, y proponer las necesidades para el manejo integral de la zona costera. Esta reunión fue una de las primeras oportunidades de intercambiar información, ideas y posibilidades de colaboración entre instituciones mexicanas y norteamericanas, que tuvo éxito.

En aquellos años, también se involucró la Comisión de Cooperación Ambiental del Tratado de Libre Comercio para América del Norte que abrió temporalmente la posibilidad de contar con un capítulo para el Golfo de México.

Los esfuerzos se complementaron con la colaboración establecida entre los gobernadores de Veracruz y Tabasco con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología –CONACYT, para apoyar la investigación científica y tecnológica que cristalizó con la creación del Sistema Regional de Investigación del Golfo de México. SIGOLFO emitió cinco convocatorias anuales para proyectos enfocados a ecología y medio ambiente, salud, vivienda, alimentos, desarrollo tecnológico y social. Este sistema tan solo entre 1995 y 2000 apoyó 197 proyectos de otros tantos investigadores provenientes de prácticamente todas las instituciones académicas de los dos estados.

Los análisis y los resultados elaborados y obtenidos respectivamente han mostrado que la tarea de revertir el deterioro ambiental del Golfo es tan grande y multidimensional que sólo a través de la coordinación de personas, instituciones y gobiernos se puede lograr. En este contexto el Instituto de Ecología, A.C. creó el Programa de Recursos Costeros (PRC), con el fin de acoger la participación de todos aquellos estudiosos del instituto interesados en el Golfo de México y de vincular a otros grupos e instituciones del país y del extranjero con el mismo fin.

El PRC pronto dio frutos, estableció una colaboración con la Escuela de Medio Ambiente Costero de la Universidad Estatal de Luisiana (LSU) que se formalizó en 1998 con la firma de un convenio entre el Instituto de Ecología, A.C. y esta Universidad. Más tarde con otro convenio se creó el curso internacional de Ecología de Ecosistemas Costeros Tropicales con la Organización de Estudios Tropicales, OTS.

Algunos de estos esfuerzos dieron como resultado documentos y proposiciones importantes entre los que destacan:

- Términos de Referencia para una Política de Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y el Caribe (1999).
- Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe (2001 y 2003).

Las iniciativas, los documentos y los resultados de las investigaciones han sido dados a conocer de la manera más amplia posible en reuniones técnicas y privadas, nacionales e internacionales, a gobernadores mexicanos y norteamericanos, a Secretarios de medio ambiente de México, Canadá y EE.UU. a funcionarios encargados de la investigación científica y tecnológica y a funcionarios de universidades e instituciones académicas nacionales y extranjeras.

Gracias a su apoyo para hacer los acuerdos, para impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico, se ha acopiado un gran acervo de datos, de información y de experiencia acerca del Golfo de México, depositado en instituciones y grupos de investigación tanto nacionales como extranjeros. Se trata de cuestiones acerca de distintos tópicos de carácter biológico, físico, químico, geológico, social, económico, etc., que si bien todavía dejan grandes huecos en el conocimiento del Golfo, nos pone en el mejor de los momentos para intentar una síntesis natural, económica y social que nos acerque al manejo global del Golfo de México.

En este ensayo quiero destacar dos aspectos que me parecen de interés para el ambiente y para el desarrollo del Golfo. El primer aspecto es el Golfo de México como una entidad histórica, social, económica, política y natural. El segundo aspecto se enfoca a considerar al Golfo como una gran frontera nacional e internacional, de carácter política, biológica, económica y social. Basado en estos aspectos propongo que el proyecto de país que hasta ahora gravita en el altiplano mexicano sea enriquecido y fortalecido con la integración de la región costera.

UN SISTEMA COMPLEJO

El Golfo de México es una cuenca de agua protegida, la más grande del Océano Atlántico, con una superficie de 1,602,000 km². Es una unidad oceanográfica costera natural que forma parte de la Cuenca del Gran Caribe. El Golfo ocupa el noveno lugar en área, el quinto lugar de profundidad promedio y el noveno en volumen entre los océanos y mares semi cerrados del mundo. Por todo esto el Golfo está considerado entre los 50 grandes ecosistemas marinos más importantes a escala mundial, y México es el responsable soberano de cerca de 50% de esta superficie (Zárate-Lomeli, *et al.* publicado en este libro).

La cuenca de drenaje del Golfo es muy grande, tiene una superficie mayor de 5,180,000 km² que abarca cinco países: México, Estados Unidos, Guatemala, Cuba y Canadá. Las mayores extensiones de esta cuenca corresponden a México y a los EE.UU. México tiene cerca de 800,000 km² de superficie de drenaje continental hacia la costa del Golfo lo cual significa el 62% de la descarga fluvial nacional y Estados Unidos de América tiene una descarga fluvial al Golfo de 40% del total de aquel país (Zárate-Lomeli *et al.* en este libro) (véase figura 1).

Esas descargas fluviales se hacen a través de grandes cuencas hidrológicas como las de los ríos Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos y Pánuco en México y el complejo Misisipi-Ohio-Misuri en los Estados Unidos de América.

Las descargas de las cuencas hidrológicas se acumulan en el Golfo que almacena alrededor de 2.3 millones de km³ de agua que debido a las corrientes oceánicas, los anillos ciclónicos y anticiclónicos, las tormentas tropicales y extra tropicales, los huracanes, los nortes, las surgencias y cascadas, se convierte en un inmenso almacén de energía del sistema océano-atmósfera, que atenúa el clima frío del norte y favorece el desarrollo de los ecosistemas tropicales y subtropicales Toledo (1998).

Eso explica que dos áreas matrices de ciclones en el mundo se encuentren precisamente en el mar Caribe y en el Pacífico mexicano (SEGOB, 1994) los ciclones provenientes de ambas áreas pueden penetrar al Golfo de México, lo cual lo hace una región crítica de incidencia de huracanes.

El Golfo de México se caracteriza por tener una zona costera muy amplia, formada por la planicie costera muy ancha y la plataforma costera también muy extendida. La zona costera mexicana se despliega a lo largo de 2,252 km de litoral del Golfo, tiene una planicie costera con una superficie

LA CUENCA DE DRENAJE DEL GOLFO DE MÉXICO



Fuente: tomado de Moreno-Casasola 1999.

de 783,915 km² y una plataforma continental de 480,600 km². En esa zona costera de aproximadamente 1,264,515 km² se llevan a cabo intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, a través de un activo intercambio de energía y materiales entre ecosistemas terrestres, marinos, aguas epicontinentales y la atmósfera.

La zona costera se puede dividir en atención a la planicie costera en dos porciones, separadas por el eje volcánico transversal en la sierra de Naolinco. Al norte de la sierra se le denomina planicie costera nororiental y al sur está la planicie costera suroriental, integrada a su vez por la planicie costera istmeño-tabasqueña, la planicie costera de la península de Yucatán y la planicie costera de sotavento (Rzedowski 1981).

Cada una de las dos porciones de la planicie costera pertenece a una provincia que a su vez corresponde a una región biogeográfica. La planicie coste-

ra nororiental forma parte de la región xerofítica mexicana y la planicie costera suroriental a la región caribea (Rzedowski 1981). Esto significa que en su conjunto la planicie costera comparte dos regiones de gran diversidad una xerofítica subtropical y otra caribea tropical. Esto explica la gran diversidad de ecosistemas, de comunidades y de especies de plantas y animales de estas dos regiones, que a su vez enriquecen los ecosistemas que forman la interfase acuático-terrestre y agua salada-agua dulce a lo largo del litoral del Golfo.

La gran diversidad biológica de la zona costera está en más de 37 estuarios y lagunas costeras que cubren una superficie de 6,786 km² correspondiente al 43% de la superficie lagunar estuarina nacional. En los humedales, que abarcan 4,232 km² de manglar equivalente al 59% del total nacional, en 12,292 km² de popal y tular que es aproximadamente 75% del total nacional y en el palmar de sólo 106 km². En la zona costera se concentra el 70% de los ríos estuarios lagunas costeras y pantanos del país (Zárate-Lomelí *et al.* publicado en este libro).

Hemos mencionado antes que la planicie costera tiene una superficie aproximada de 783,915 km²; ésta es tan extensa porque se trata de toda la cuenca de drenaje o la cuenca hidrológica total que abarca el 62% del escurrimiento total nacional. Esta planicie está integrada por aproximadamente 24,000 Km² de ecosistemas acuáticos, semi acuáticos y desembocaduras de ríos, lo cual deja más de 750,000 km² a los ecosistemas terrestres entre los que destacan las dunas, las selvas, los encinares y los pastizales o sabanas, donde la riqueza de especies de plantas y de animales es enorme.

La plataforma continental y los 11,018 km² de ecosistemas dulceacuícolas y salobres tienen en conjunto un área de 491,618 km² esta área es clave para la alimentación, cría y reproducción de gran cantidad de especies: cinco especies de tortugas marinas anidan en más de 20 playas; más de 627 especies de aves residentes y migratorias dependen de los humedales para protección, alimentación y reproducción, al menos 249 especies de mamíferos terrestres y 24 especies de mamíferos marinos y 329 especies de peces dependen de esta área crítica (Zárate-Lomelí *et al.* publicado en este libro).

En la plataforma continental se localizan importantes formaciones arrecifales; más de 25 arrecifes de banco que se distribuyen desde la plataforma de Yucatán hasta la región de la laguna de Tamiahua y en el atolón de Alacranes ubicado en la parte norte de la plataforma de Yucatán, considerado como uno de los atolones más grandes de todo el Caribe. En estas formaciones se encuentran más de 39 especies de hidrocorales pétreos y escleractíneos, al menos 29 especies de gorgonáceos, más de 46 especies de macroalgas y 56 especies de peces de arrecife (Zárate-Lomelí, *op cit.*

Más allá de la plataforma costera, la zona oceánica es muy rica en equinodermos, moluscos, poliquetos, peces, mamíferos marinos, crustáceos e invertebrados menores (Arriaga *et al.* 1998).

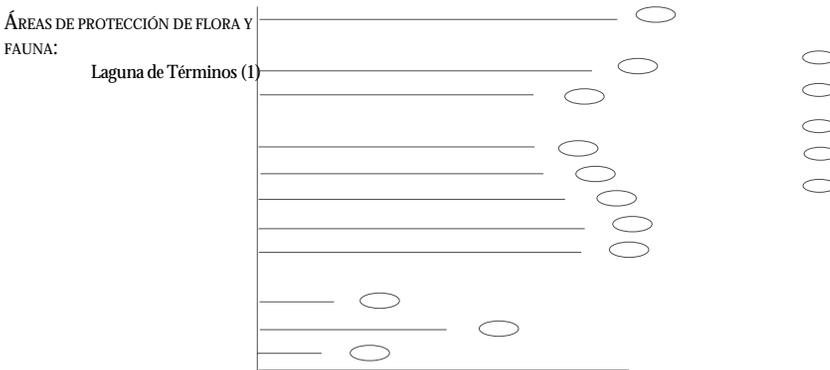
LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD

En la zona costera mexicana del Golfo de México hay 11 áreas naturales protegidas (ANP), nueve de ellas pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) y las dos restantes son una privada y una municipal (figura 2).

Entre las ANP incluidas en el SINAP hay cinco Reservas de la Biosfera, todas localizadas en la planicie costera y sólo una, la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas incluye ecosistemas terrestres. Los dos Parques Nacionales son sistemas arrecifales; el Área de Protección de Flora y Fauna es una laguna costera; en la categoría de Santuario hay una playa, y por último está la Ciénega del Fuerte en Veracruz que es área protegida municipal.

En el Golfo de México existen facilidades para la investigación, solo en el Centro de Investigaciones Costeras de La Mancha –CICOLMA del Instituto de Ecología, A.C. y en la estación de laguna de Términos de la Universidad

FIGURA 2. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE MÉXICO



Fuente: con datos de SEMARNAT-CONANP y Moreno Casasola 1999.

Nacional Autónoma de México. En todo el Golfo hay sólo un acuario en el Puerto de Veracruz.

El total de la superficie protegida es de 1,980 km², que se desglosa en 42.8% de rías y lagunas, 0.2% de playas, 19.5% de arrecifes, 29.6% de pantanos, petenes y ciénegas y 7.8% de comunidades terrestres. Estas cifras muestran que la diversidad de ecosistemas y comunidades del Golfo no está representada significativamente en este conjunto de áreas naturales protegidas. Los menos representados son los ecosistemas terrestres de la planicie costera, en especial las selvas húmedas y secas, los encinares de baja altitud y los pastizales naturales (figura 2).

A pesar de que el Golfo de México tiene mayor biodiversidad que otras zonas costeras del Pacífico mexicano y del Golfo de California, dispone de menor número y extensión de Áreas Naturales Protegidas como se muestra en la figura 3, tomada de Moreno-Casasola (2004).

A pesar de lo anterior, existe la información acerca de lo que se debe conservar en el Golfo de México en los catálogos de regiones prioritarias para la conservación, elaborados por la Comisión Nacional para el Cono-

FIGURA 3. RESERVAS COSTERAS

cimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La Comisión identificó en el capítulo de Regiones Prioritarias Marinas (1998) 16 regiones costeras y tres marinas, en el capítulo de Regiones Terrestres Prioritarias (2000), se determinaron 12 áreas y en el capítulo de Cuencas Hidrográficas Prioritarias se señalaron ocho cuencas (figura 4).

Varias de estas áreas prioritarias coinciden entre sí, como ocurre con algunas áreas marinas y terrestres que corresponden con nueve áreas de la zona costera, lo cual hace a estas áreas de alta prioridad para la conservación.

FIGURA 4. REGIONES PRIORITARIAS MARINAS, TERRESTRES E HIDROLÓGICAS



Fuente: adaptado de Arriaga *et al.* 1998, 1999, 2000.

Las cuencas hidrográficas identificadas como prioritarias también coinciden con los ocho sistemas costeros principales. Resulta interesante ver la coincidencia de la prioridades marinas, terrestres y cuencas, claro reflejo de la interacción de los ecosistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas en el Golfo de México (figura 4).

A pesar de las pocas áreas naturales protegidas que existen, de la urgencia que el deterioro ambiental exige, de las buenas posibilidades para la conservación y de las facilidades para decretar áreas debido a la baja densidad de población y las pocas áreas urbanas existentes, no hay un plan de creación de Áreas Naturales Protegidas en ninguno de los seis estados, aun cuando a nadie escapa la importancia de decretar sitios como el sistema lagunar de Alvarado y Humedales del Papaloapan, la Laguna de Tamiahua-Pueblo Viejo y la Laguna Madre.

La diversidad biológica mejor conocida del Golfo es la de los humedales, lagunas costeras y esteros. No deja de llamar la atención la poca información que tenemos acerca de la diversidad más allá de la plataforma continental y de los ecosistemas terrestres de la propia planicie costera.

Los sistemas terrestres son el vestíbulo del área de drenaje del Golfo; se trata del bosque tropical húmedo, del matorral xerófilo, del bosque tropical caducifolio, del bosque mesófilo de montaña, del bosque de coníferas y del bosque de encinos.

Estas formaciones y comunidades terrestres de la planicie costera dan forma al paisaje costero. Las condiciones físicas que imperan en esta zona son muy peculiares a causa de los vientos, las mareas, el paso de huracanes, de tormentas tropicales, de las inundaciones que impactan las condiciones del suelo arenoso y rocoso. La perturbación es la constante de la zona costera, y la flora y fauna se combinan y recombinan para colonizar y recolonizar los espacios perturbados. Son sistemas naturales muy peculiares por su vulnerabilidad y cambio constante. Estos paisajes de la planicie costera son el resultado del desplazamiento de las especies de altitudes medias hacia la planicie y a lo largo de la costa (Guevara 2004).

Si se toma en cuenta lo anterior, se puede entender el sistema de flujos de agua, de materia, de energía, también el flujo de especies de plantas y de animales que ascienden y descienden de los altiplanos a la costa y el flujo que existe a lo largo de la planicie costera. Así, se puede dar forma a la compleja estructura y dinámica de las comunidades y los paisajes costeros.

Este conocimiento acerca de la interacción e integración de los ecosistemas permite describir la situación actual y las perspectivas de conservación, res-

tauración y uso, así como la apropiación de los recursos naturales a lo largo de la historia de ocupación de estas regiones.

EL MUNDO FRAGMENTADO

El Golfo de México es un mundo fragmentado (Carré y Séguin 1998). La historia antigua del mundo, hasta antes del descubrimiento de América transcurrió en el Mar Mediterráneo y su entorno y la historia reciente desde 1500 hasta ahora ha transcurrido en el Mar Caribe y Golfo de México y sus alrededores y ésto ha tenido grandes implicaciones para el Golfo de México.

El imperio español conquistador y colonizador de América continental e insular se desagregó de forma creciente a partir del siglo XVII hasta el siglo XIX, y dio lugar a más o menos 30 entidades políticas en el Caribe y cinco más en el Golfo de México (figura 5). Se formaron mosaicos de estados, de pueblos y culturas, creados por las influencias europea y africana, que diluyeron a las culturas indígenas creando sincretismo y mestizaje y dando lugar a sociedades inestables donde los conflictos de todo tipo han devenido en eventos violentos o guerras civiles, aún hasta la fecha (Carré y Séguin 1998) (véase figura 6).

Las culturas y sociedades prehispánicas mesoamericanas y circuncaribes fueron inicialmente colonizadas por España, y tiempo después fueron colonizadas por Francia, Inglaterra y Holanda quienes se establecieron de manera violenta en las islas antillanas, en los puntos más difíciles de defender para España.

Con el tiempo Francia crea la Compañía de las Islas de América (1635), Holanda la Compañía Holandesa de las Indias Occidentales (1621) e Inglaterra interviene en los litigios internacionales, y así poco a poco controlan las islas de las antillas con enorme beneficio económico. Las plantaciones y explotaciones en las islas son trabajadas por esclavos africanos que llegan en gran número a esta región (Carré y Séguin 1998).

A raíz del éxito de las explotaciones agrícolas y mineras, surgen conflictos europeos. El siglo de las luces envolvió a Francia y España en gran inestabilidad política que da lugar a la aparición de otra potencia nacional en la región del Gran Caribe, se trata de los Estados Unidos de América.

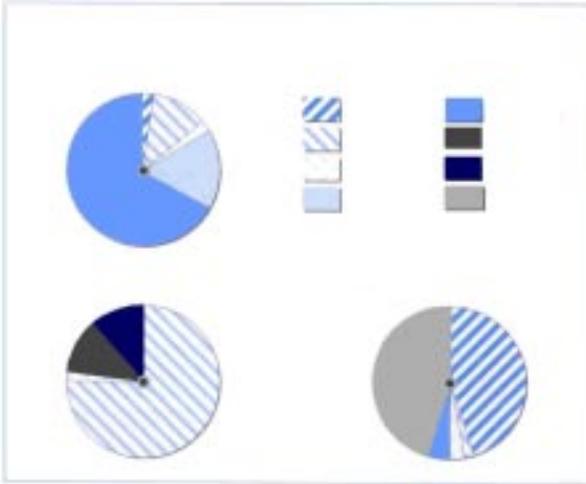
Estados Unidos de América con gran visión política y económica, aprovecha la tensión europea para adquirir Luisiana de Francia en 1803 y Florida de España en 1819. Más tarde durante la confusión y la inestabilidad social y política provocada por las luchas de independencia en América,

FIGURA 5. DIVISIÓN POLÍTICA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

FIGURA 6. EJEMPLOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

logra que México le ceda en 1836 el territorio de Texas, con lo cual ocupa un lugar destacado en el Golfo y en el Caribe.

La fragmentación del mundo del Caribe y del Golfo limitó el predominio de cada uno de los países europeos, pero favoreció la penetración de los intereses norteamericanos. Hoy parece ser que se desarrolla un proceso de integración regional bajo la égida de los Estados Unidos, vieja aspiración y motor de las acciones emprendidas por las potencias europeas, integración norteamericana impulsada por la Doctrina Monroe en 1823 y afirmada por la Alianza para el Progreso en 1960.

Más recientemente los procesos de integración y de fragmentación regional continúan a través de los programas de aprovechamiento de los recursos naturales, de conservación de la biodiversidad, y de bienestar económico y social como parte de los tratados de libre comercio en la región o fuera de la región. Estos tratados son la nueva visión y apetitos de los países o consorcios europeos, asiáticos y americanos, es el nuevo esquema de independencia y dependencia para el Golfo de México y el Caribe (figura 7).

La diversidad y la ocupación del espacio de las culturas mesoamericanas y circuncaribes, ya de por sí compleja se embrolló más por efecto de la colonización de distintos países europeos. Más tarde los movimientos sociales y las guerras de invasión y de independencia dieron como resultado una diversidad inimaginable de usos del suelo, de formas de producción y modelos de desarrollo. Que se desglosan en distintos tipos de agricultura, de ganadería, de minería y de explotación forestal, así como de distintos patrones de poblamiento, urbanización y comunicaciones.

La situación económica, social y política de la región desde el siglo XVI hasta hoy es incierta e inestable, y ésto se percibe claramente en el flujo actual de la emigración obligada por la situación crítica de la económica o la política, hacia distintos países europeos y los Estados Unidos (figura 8).

LA SUMA DE TODAS LAS FRONTERAS

El Golfo de México es la suma de todas las fronteras. La frontera multi dimensional; entre los altiplanos y el mar, entre lo terrestre y lo acuático, entre lo marino y lo dulceacuícola, entre la plataforma continental y las aguas azules, entre lo tropical y lo subtropical, entre culturas y sociedades entre estructuras económicas y modelos de desarrollo y entre estados y países es la frontera entre América del Norte y Centroamérica, entre el Caribe y Sudamérica y aún podría considerarse entre Asia y Europa.

Estas interfases o fronteras entre condiciones o componentes del sistema complejo del Golfo lo hacen estructuralmente muy rico y funcionalmente problemático. La situación de la región cambia con facilidad a causa de factores naturales, sociales, económicos o políticos. Las fronteras cambian de sitio en el tiempo y en el espacio y se modifica la dirección e intensidad de los flujos a través de cada una de las fronteras. Un modelo del Golfo de México basado en este concepto de frontera multidimensional resulta en un diagnóstico y replanteamiento de la relación hombre-hombre y hombre naturaleza.

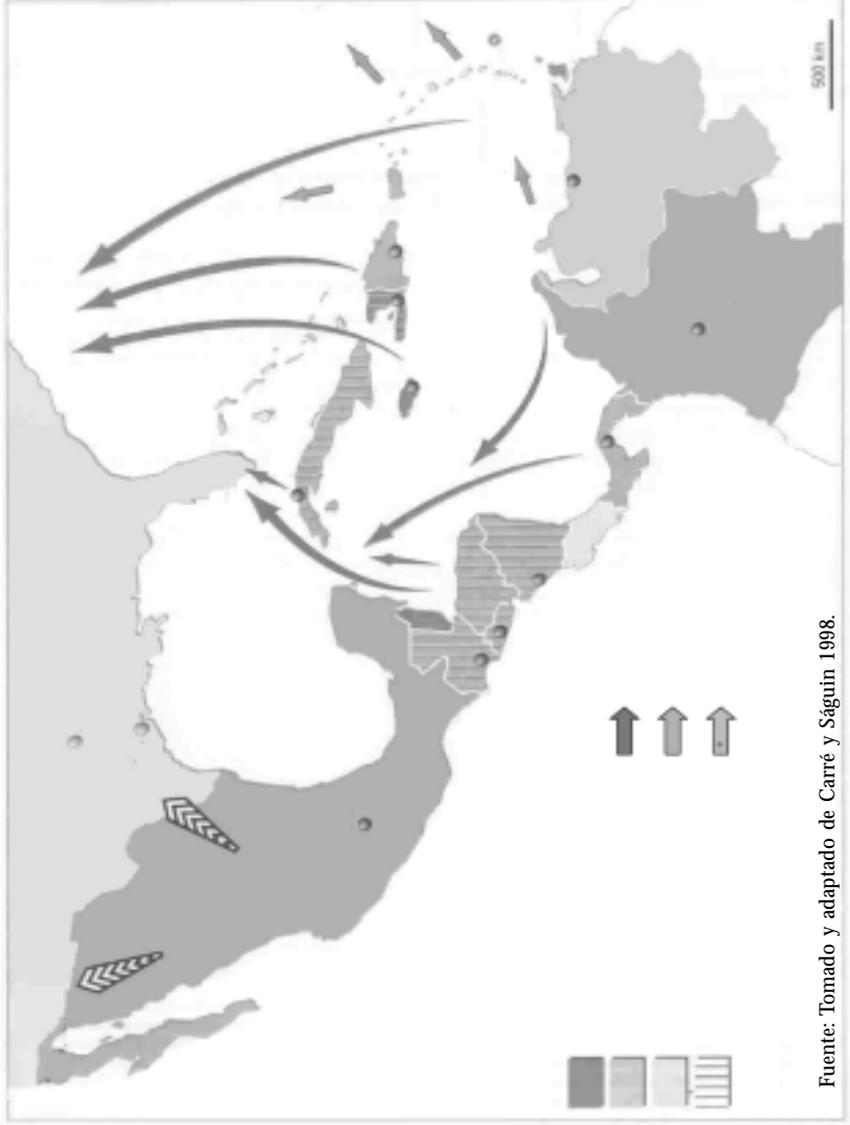
Las fronteras se pueden definir en el espacio y/o en el tiempo, dependen de procesos políticos, económicos, sociales o naturales, son semi permeables y están subordinadas entre sí. Cada frontera tiene un trazo determinado, durante un cierto tiempo y su permeabilidad varía modificando la intensidad y dirección del flujo de corrientes marinas, de vientos, de migración de plantas y de animales, de movimiento de mercancías, de energéticos, de población, de escurrimientos dulceacuícolas, recursos naturales y movimientos culturales entre otros. En función de la compresión y la

FIGURA 7. TRATADOS REGIONALES DE LIBRE COMERCIO



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

FIGURA 8. MIGRACIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y LAS ANTILLAS



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

descompresión ejercida por las condiciones políticas, económicas, sociales o naturales de la región y aun desde fuera de la región del Golfo de México.

Es el escenario ambiental, social, económico y cultural americano ideal para la cooperación internacional para integrar el mundo fragmentado del Golfo de México. Es un desafío a la creación, a la conservación y a la restauración de la diversidad biológica, de la diversidad cultural, al bienestar social y a la calidad de vida como nunca antes ha ocurrido en el Golfo de México.

DE VUELTA AL MAR

Desde el neolítico el crecimiento demográfico ha ocurrido en los litorales; 25% de la población del planeta vive en una banda costera de 25 km de ancho y 60% vive en una banda de 200 km de ancho. Casi 80% de las ciudades más grandes del mundo están en los litorales.

En el año 2000 la población mexicana era de 100 millones, distribuida en ciudades el 60%, 13% en zonas semiurbanas y 27% en zonas rurales (INEGI). El 54% vive en estados que no son costeros y 46% vive en la costa; dos tercios en el Pacífico y un tercio en el Golfo y el Caribe. Los estados donde hay mayor población en municipios costeros son: Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, Nayarit, Campeche y Quintana Roo. En contraste en Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Chiapas y Yucatán predomina la población asentada tierra adentro. Actualmente de las 126 ciudades más grandes del país, 48 son costeras (Garza y Rivera 1995).

México es un país de altiplano, la mayor parte de la población vive en las tierras altas y las montañas, en alturas que van de 1,000 a 2,000 metros de altura sobre el nivel del mar, aun cuando el altiplano ocupa aproximadamente solo la cuarta parte del territorio. A pesar de que en la geografía mexicana son muy pocos los sitios cuya distancia al mar es mayor de 500 km. (Rzedowski 1981); esto quiere decir que el territorio recibe una fuerte influencia del mar que lo rodea. A pesar de ello México es el único país marítimo en el que no cuentan sus puertos entre sus ciudades más grandes (Carré y Séguin 1998).

La paradoja es la gran extensión de litoral y la casi inexistente influencia en la economía y cultura, el desapego de los mexicanos para con sus mares y costas. En el interior del país no hay conciencia acerca de la costa y su significado (León en prensa). Esta situación tiene mucho que ver con la ocupación del territorio mexicano.

La Ciudad de México, capital del país fue también la capital del Virreinato de la Nueva España, y fue inicialmente la ciudad capital del imperio Azteca;

esta sobreposición de ciudades, dice mucho acerca del origen del centralismo que ha privado en México desde entonces y hasta ahora.

En torno a esta ciudad y a esta región del altiplano se ha ordenado y organizado el espacio mexicano; la distribución y el crecimiento de la población, el desarrollo económico y social y la cultura en general. El territorio se divide en grandes regiones o zonas definidas por sus relaciones comerciales, económicas y políticas. Regiones que comparten comunicaciones, fuentes de producción, mercados y modelos culturales y que se encuentran todas articuladas alrededor de la región centro (figura 9).

En esta figura se ubican algunas de las regiones más importantes; las regiones costeras que se destacan son la del Golfo de México y el Pacífico centro y sur que son pequeñas en relación con la región centro y la región norte. La comparación está hecha con base en el tamaño de la red urbana que le da coherencia a cada una. Se puede señalar que las regiones costeras tienen un desarrollo basado casi exclusivamente en actividades primarias y el turismo mientras que las regiones centro y norte se basan en un conjunto de grandes ciudades y zonas industriales. El flujo económico entre las regiones es de las costas hacia al centro, y de ahí hacia el norte atravesando una gran región más o menos desarticulada hasta llegar a la región norte que se extiende a lo largo de la frontera con Estados Unidos de América, desde Tijuana hasta Matamoros.

En la figura 10 se muestra el destino del flujo de las regiones mexicanas más allá de la frontera con los EE.UU. El flujo principal proveniente del centro de México se divide en dos en la región norte. El flujo del oeste a través de Sonora y Baja California tiene como destino la costa del estado de California, en especial las áreas de las ciudades de Los Ángeles y San Francisco, y el flujo del este a través de Chihuahua y Nuevo León llega a la costa del estado de Texas, alrededor de las ciudades de Dallas y Houston. Paradójicamente México desde el punto de vista económico y social está más vinculado con la costa estadounidense, que con las costas del Pacífico, Golfo o Caribe mexicanos.

La explicación del acendramiento mexicano tierra adentro tiene raíces antiguas. Los pueblos mesoamericanos no eran navegantes; utilizaron los humedales y los ríos como vías de comunicación, y en ocasiones recorrían porciones de costa, pero el mar en general no era utilizado como vía de comunicación. Sus comunicaciones eran estrictamente terrestres, sus rutas y caminos estaban bien trazados, mantenidos y disponían de infraestructura de apoyo a lo largo y ancho de los altiplanos y de los pasos entre las montañas.

Estas comunicaciones terrestres fueron aprovechadas por la administración colonial, para fraccionar y dividir el territorio y a sus pobladores en un diseño adecuado para sus fines económicos y políticos. Esta situación favorecería también al sistema productivo español basado en la agricultura, ganadería y minería, de suelos en zonas semiáridas. Además las mayores vetas de los minerales valiosos estaban en las montañas alrededor de los altiplanos.

Esto explica porqué la mayor cantidad de la población se encontraba y se encuentra por arriba de 500 m de altitud, cuando la mayor disponibilidad de agua está por debajo de esta cota (León, en prensa).

Otra razón de peso para haber privilegiado la tierra adentro sobre las costas fue que en el litoral del país había pocos o tal vez ningún puerto de abrigo natural, en realidad sólo había contados sitios para puertos más o menos adecuados.

Es de considerar también que España perdió la América insular y buena parte de los litorales a manos de Francia, Portugal, Inglaterra y Holanda, debido a la carencia de un sistema de comunicaciones y aprovisionamiento eficiente entre islas y costas. A diferencia, del sistema inglés, que fincó su control y administración en la movilidad de su flota comercial y de su armada bien organizada y poderosa, que le permitió establecerse en islas y litorales. Es curioso, como los ingleses llegaron a crear islas artificiales móviles formadas por flotas de barcos que actuaban como centros administrativos y de toma de decisiones, amén de su capacidad militar, dándoles facultad para controlar grandes extensiones de mar y costas.

La última y no menos importante razón es que el altiplano tiene un menor riesgo de desastres naturales que la costa, sometida al arbitrio de los vientos, de las fluctuaciones estacionales y anuales del nivel del mar, de los cursos y caudales de los ríos, de las lluvias y de un suelo medroso e inestable plagado de malsanos humedales y pantanos, con referencia a esto, alguna vez Alexander von Humboldt dijo "...México está protegido por su propia costa" (Siemens, comunicación personal).

Ahora después de más de cinco siglos de civilización en el altiplano, este empieza a dar muestras de agotamiento, por la pérdida de fertilidad de los suelos, por la disminución de la cantidad y calidad de agua disponible, por la saturación de los asentamientos urbanos, por la calidad del aire y por la disminución de los recursos naturales disponibles.

A pesar de que la colonización española se extendió por extensos territorios de América, esta situación de recogimiento en el altiplano sólo ocurrió en el caso de México y de Guatemala Carré y Séguin (1998). Esta situación pecu-

liar puede ser la garantía de nuestro futuro, y transformarnos de un país que solo mira hacia el interior, en un país que también mira hacia el mar. Las costas y litorales son una reserva de alimentos, energéticos, comercio, turismo, por lo que ocupar las costas especialmente las del Golfo, no sólo brindará una gran riqueza sino que convertirá a México en un país más abierto al mundo.

La costa es un puente de comunicación entre estados y países, y es una magnífica oportunidad de alcanzar un desarrollo sustentable. El reto para lograrlo es crear una nueva cultura y una distinta relación entre la sociedad y la naturaleza. Tenemos que preparar el camino para en un futuro cercano iniciar el acercamiento al mar, nuestra siguiente frontera.

El futuro de la base material de subsistencia y desarrollo de México está en el uso racional de las costas; se trata de elaborar un nuevo modelo de desarrollo del país, que integre los altiplanos y las costas. Un modelo que incremente la producción de las zonas costeras, con el fin de disminuir la presión que pesa sobre los ecosistemas de los altiplanos. De esta forma podríamos recuperar las características y las condiciones de ecosistemas de las tierras altas y de sus servicios ambientales.

El modelo de largo plazo de “sube y baja”, significa que el estado de los ecosistemas del altiplano serían controlados por su repercusión en la costa y la productividad de la costa aliviaría la situación ambiental de los altiplanos. Es un modelo de país racional, global e integral, y es probablemente la última llamada a la nueva relación de la sociedad mexicana con el medio natural.

LOS RECURSOS DEL GOLFO

El Golfo de México contiene a escala regional el conjunto de recursos naturales más rico del país. Los recursos pesqueros, energéticos, acuíferos, agrícolas, ganaderos y forestales, y aún se pueden incluir como recursos de otro tipo las comunicaciones nacionales e internacionales y la disponibilidad de espacio. La base de esta riqueza de recursos es la diversidad biológica del Golfo, que es probablemente la mayor que se pueda encontrar a escala regional en el continente americano.

Las pesquerías son consideradas como el segundo recurso costero de importancia para la región con más de 350,261 ton/año de recursos costeros demersales con un valor aproximado de 240 millones de dólares, que da empleo a más de 90,000 personas.

De camarón se extrae más de 30,000 ton/año, de ostión 49,000 ton/año, la almeja produce 2,000 ton/año, además se pesca langosta, pulpo, jaiba,

mero, pargo, huachinango, corvina, robalo, mojarra y tiburón.

La agricultura ocupó en 1990 una superficie de 2,172,467 ha y produjo 4,227,923 ton, de maíz, frijol, arroz, soya, cártamo y sorgo.

Más del 80% del petróleo crudo y 90% de la producción nacional de gas se origina en el Golfo. Los recursos energéticos son enormes, los yacimientos de la cuenca de Villahermosa y la sonda de Campeche son considerados entre los mayores yacimientos en producción del hemisferio occidental. Existe una gran compleja infraestructura petrolera para extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte, refinerías, petroquímicas, plataformas y ductos.

Esta disponibilidad de recursos naturales de alto rendimiento para consumo interno y exportación son un apoyo sustantivo del argumento acerca del potencial del Golfo de México para el desarrollo futuro del país.

DESARROLLO Y ABANDONO

Los recursos naturales que se extraen del Golfo son de enorme cuantía y el potencial de uso es aún más grande; con base en buena parte de ello es que México es actualmente un fuerte exportador, y ocupa el primer lugar en la exportación de toda Latinoamérica, facturando alrededor de 60% del total de todos los países. Cuenta con nueve de las diez compañías exportadoras de autos, petróleo, cemento y eléctricos más fuertes de la región.

Sin embargo, la marina mercante mexicana es casi inexistente, México no cuenta con transporte marítimo para trasladar sus exportaciones, elemento básico para el desarrollo del comercio exterior.

El desarrollo portuario mexicano es producto de políticas del siglo pasado. Desde 1935 el presidente Cárdenas reconoció la inexistencia de la marina mercante mexicana y la importancia de crearla y desarrollarla. Responsabilidad que recayó años después en PEMEX.

Ruiz Cortines en 1959 creó el Programa de Progreso Marítimo conocido como la Marcha al Mar, que consistía en mover cantidades importantes de población del altiplano a las costas, y así aprovechar las riquezas del mar, para ello preveía integrar una red marítimo portuaria, acondicionar y construir astilleros mejorar las comunicaciones y transportes entre puertos establecer las bases para el desarrollo de la marina mercante.

En 1976 se le asignó tal tarea a la Secretaría de Marina y en 1977 se reasignó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Durante la administración del presidente Echeverría y del presidente López Portillo la flota petro-

lera mexicana era la más grande de América Latina. Esta flota fue perdiendo importancia hasta ahora, en que el 98% de los cargamentos de importación y exportación son transportados por buques de banderas extranjeras manejadas por 114 compañías navieras. El 45% de los permisos solicitados pertenecen a buques con banderas de Estados Unidos de América, el 12% a Vanuatu, el 12% a Panamá, el 10% a Liberia, San Vicente-Las Granadinas y Bahamas y el 21% restante a países europeos y asiáticos.

El cabotaje mexicano no está protegido como el de los EE.UU. por el Jones Act que no permite que el cabotaje lo hagan embarcaciones extranjeras. Adicionalmente en el renglón de pago de fletes, PEMEX establece precios más bajos a las compañías extranjeras que a las mexicanas para la venta de los combustibles, que entre descuento e IVA resultan entre 18 y 20% más caros.

El turismo se ha desarrollado de manera desmedida en el Golfo. Lamentablemente el modelo turístico predominante es ajeno al medio natural y social y ocupa el espacio de manera arbitraria y desordenada, desarticulando los procesos naturales, sociales, económicos y comprometiendo su propio futuro.

La extracción de recursos naturales renovables y no renovables del Golfo de México, no está basado en un plan de desarrollo de exportaciones que incluya la creación de infraestructura, como instalaciones portuarias y de transporte, y el crecimiento desordenado del turismo apunta a un gran deterioro producido por las actividades productivas y extractivas. Destaca el efecto que tiene la industria del petróleo y la deforestación ocasionada por el avance de la frontera agropecuaria; actualmente el 40% de la superficie total de los seis estados ha perdido su vegetación original.

El desarrollo agrícola y urbano de las tierras altas produce contaminación de ríos, estuarios, lagunas costeras, humedales y en general afecta a la producción pesquera en general.

De continuar el desarrollo urbano, industrial, agropecuario y turístico como hasta ahora, siguiendo iniciativas locales de ordenamiento y de planificación furtivas, no explícitas, y sin un plan de desarrollo regional del Golfo de México, el deterioro ambiental y la pérdida de recursos naturales será irreversible, la inversión en infraestructura inalcanzable, la densidad de población incontrolable, el deterioro social peligroso, y será una región de conflicto y no una región de oportunidad para el futuro de México.

EL DESENLACE

El Golfo de México es la fuente actual y potencial de recursos naturales más

importante de México, sin embargo es una de las regiones más deterioradas y afectadas ambientalmente. Es la gran oportunidad para el desarrollo armónico del país.

Hay muy poco trabajo interinstitucional y multidisciplinario para definir geográfica, social, y económicamente al Golfo de México, lo que ha acarreado que los planes de desarrollo elaborados en distintas escalas estén incompletos e inconexos y por tanto no son funcionales.

Aunque se ha tenido éxito en la creación de organizaciones nacionales e internacionales de carácter político, social y académico, aún no son capaces de diagnosticar, identificar y proponer los elementos de un plan para el desarrollo del Golfo de México

La indefinición del Golfo de México y la falta de acuerdos y coordinación limitan la elaboración de la regionalización del Golfo de México, que es la base del desarrollo regional americano.

No se deben soslayar los esfuerzos y las proposiciones hechas para avanzar en esa dirección, se podrían mencionar algunos como:

- El Programa para el Golfo de México, formulado por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos en 1988.
- El Consejo de Negocios para el Desarrollo Sostenible del Golfo (Business Council for Sustainable Development of the Gulf)
- La Cámara México Estadounidense para el Golfo
- El Tratado de los Mares
- Tratado de Libre Comercio de América del Norte
- El Acuerdo para el Desarrollo Económico para la Cuenca del Gran Caribe.

México debe proponerse como objetivo estratégico de desarrollo y crecimiento incorporar la región del Golfo de México al resto del país con el fin de visualizar un nuevo proyecto, basado en una relación cualitativa y cuantitativa distinta entre la sociedad mexicana y el medio natural, que sea más productiva, más justa y que se proyecte al futuro. Adicionalmente, permitirá a México establecer una relación más armónica con los países del Golfo y el Caribe y del mundo en general.

AGRADECIMIENTOS

Graciela Sánchez-Ríos hizo el trabajo técnico, acopió información y corrigió el texto, Kerenha Hernández consiguió datos y elaboró figuras y gráficos,

Patricia Moreno-Casasola compartió generosamente su información, Alfred Siemens hizo comentarios muy valiosos al contenido de este ensayo y un revisor anónimo contribuyó sensiblemente a dar coherencia y calidad al texto.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, Cabrera L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López y V. Aguilar Sierra (coord.) 1998. *Regiones Prioritarias Marinas de México*. CONABIO, México.
- Arriaga, Cabrera, L., J. M. Espinóza-Rodríguez, C. Aguilar-Zúñiga, E. Martínez-Romero, L. Gómez-Mendoza y E. Loa loza. (coords.) 2000. *Regiones Terrestres prioritarias de México*. CONABIO, México.
- Carré, F. y A. De Séguin 1998. *Mexique, Golfe, Caraïbes: une méditerranée américaine?* Presses Universitaires de France.
- Garza, G. Y S. Rivera 1995. *Dinámica macroeconómica de las ciudades de México*. INEGI-COLMEX, México.
- Gore, R.H. 1992. *The Gulf of Mexico. A Treasury of Resources in the American Mediterranean*. Pineapple Press, Inc. Sarasota, Florida.
- Guevara, S. 2004. El Paisaje del Viento. En Moreno-Casasola (ed). *Entorno Natural y Cultural de la Costa Veracruzana: La Mancha*. Fish and Wildlife Service e Instituto de Ecología, A.C. México.
- Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.). 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Assessment, sustainability and management*. Blackwell, Science.
- León, C. 2004. Piezas de un rompecabezas: dimensión socio-económica de las costas de México. En: Rivera, A.E., G. Villalobos, Z., I. Azuz A. y F. Rosado (eds.). *Manejo costero en México*.
- Moreno-Casasola, P. (ed.) 2004. *Entorno natural y cultural de la costa veracruzana: La Mancha*. Fish and Wildlife Service e Instituto de Ecología, A.C. México.
- Rzedowsky, J. 1981. *La vegetación de México*. Editorial Limusa, México.
- SEGOB 1994. *Atlas Nacional de Riesgos*. Dirección General de Protección Civil, México.
- 1994. *Prontuario de Consecuencias en el siglo XX Mexicano*. Subsecretaría de Protección Civil, SEGOB, México.
- Toledo A. 1998. Al rescate del Golfo de México. Un patrimonio natural irremplazable. *La Jornada Ecológica*. Suplemento La Jornada. Marzo de 1998, México.
- Zárate-Lomelí, D., A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz-Pérez, A. Lara-Domínguez, C. Ojeda de la Fuente y S. Guevara 2004. Lineamientos para el Programa Regional de Manejo Integrado de la Zona costera del Golfo de México y Caribe. En: *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, México.

SOBRE LOS AUTORES

AGUILAR-BETANCOURT, CONSUELO. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana, Cuba.

AGUIRRE GÓMEZ, RAÚL. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Circuito Exterior. C. P. 04510, México D. F.

ÁLVAREZ-TORRES, PORFIRIO. Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. (CeIBA).

ARENAS FUENTES, VIRGILIO. Centro de Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Dr. Luis Castelazo s/n. Km 3.5 de la carretera Xalapa-Las Trancas, Col. Industrial Ánimas, Xalapa, Veracruz, México. Apdo. Postal 663. 91000. correo-e: ljimenez@uv.mx

ARREOLA ALEMÓN, ROBERTO. WWF – México. Calle Santa Tecla #40, Col. Monserrat, Delegación Coyoacán, CP 04330, México, D.F.

BAQUEIRO CÁRDENAS, ERICK RAÚL.

BARRAS, JOHN. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Baton Rouge, Louisiana 70894.

BERNARDEZ, AMAYA. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP-SEMARNAT). Camino Al Ajusco 200. Col. Jardines en la Montaña, México, D.F.

BOTELLO-VÁZQUEZ ALFONSO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad

Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Contaminación Marina. Correo electrónico: Vazquez-Botello@mar.icmyl.unam.mx.

BRITO, ROBERTO. Facultad de Ciencias Pesqueras, Universidad Autónoma del Carmen, Cd. del Carmen, Campeche, México.

BRULÉ, THIERRY. CINVESTAV Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso Km.6, A.P. 73 Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México

CAMPOS, JESÚS.

CARRANZA-EDWARDS, ARTURO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

CASO CHÁVEZ, MARGARITA. Instituto Nacional de Ecología, Periférico Sur 5000, 5° Piso, Col. Insurgentes Cuicuilco, México D.F., 04530, México

CASTAÑEDA L., OFELIA. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Área de Ecosistemas Costeros. Av. Michoacán y La Purísima s/n. Col. Vicentina. C. P. 09340.

CLAIRAIN, ELLIS. Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi 39180

CLAIRAIN, ELLIS. Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi 39180

COLÁS-MARRUFO, TERESA. CINVESTAV Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso Km.6, A.P. 73 Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México

CONTRERAS E., FRANCISCO. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Área de Ecosistemas Costeros. Av. Michoacán y La Purísima s/n. Col. Vicentina. C. P. 09340. A. P. 55-535. Tels. 58044745, 46 y 38 (fax). Correo electrónico: fce@xanum.uam.mx

COOPER, EDWIN L. Laboratory of Comparative Immunology, Department of Neurobiology, David Geffen School Of Medicine at UCLA, University of California, Los Angeles, Los Angeles California 90095-1763

DAY, JOHN W. Dept. of Oceanography and Coastal Sciences and Coastal Ecology Institute, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

DE LA MAZA ELVIRA, ROBERTO. CONANP

DE LANZA ESPINO, GUADALUPE. Instituto de Biología, Departamento de Zoología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, México 04510. Correo-e:gdlle@servidor.unam.mx.

DELGADO-ESTRELLA, ALBERTO. Grupo Vía Delphi, S.A. de C.V., Av. Tulum 269, Int. 19. SM. 15-A, C.P. 77500 Cancún, Quintana Roo. México.

DÉNIEL, CHRISTIAN. Institut Universitaire Européen de la Mer, UBO, Place Nicolas Copernic-Technopôle Brest-Iroise, 29280 Plouzané, Francia.

DÍAZ-DE-LEÓN, ANTONIO. Instituto Nacional de Ecología/El Colegio de México, INE/ COLMEX

ESCOBAR BRIONES, ELVA. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Sistemas Oceanográficos y Costeros. A.P. 70-305 Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F. Correo-e: escobri@mar.icmyl.unam.mx

FELDER, JR., DARRYL L.. Biology Department. University of Louisiana-Lafayette. Lafayette, Louisiana 70504.

FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, JOSÉ IGNACIO. Instituto Nacional de la Pesca (INP-SAGARPA)

GALLARDO DEL ÁNGEL, JULIO C.. Circuito Teodoro A. Dehesa # 348, Frac. Lucas Martín, C.P. 91100, Xalapa, Veracruz.

GELABERT, ROLANDO. Facultad de Ciencias Pesqueras, Universidad Autónoma del Carmen, Cd. del Carmen, Campeche, México.

GÍO-ARGÁEZ, RAÚL. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-305, Coyoacán D. F. 04510. Correo-e: raulg@mar.icmyl.unam.mx

GOLD BOUCHOT, GERARDO. Departamento de Recursos del Mar, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida. ggold@mda.cinvestav.mx

GÓMEZ ROJAS, JUAN CARLOS. Instituto de Biología, Departamento de Zoología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, México 04510.

GONZÁLEZ-SANSÓN, GASPAR. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana, Cuba.

GRACIA, ADOLFO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Apartado Postal 70-305. México, D. F. 04510, México Correo-e: gracia@mar.icmyl.unam.mx

GUEVARA SADA, SERGIO. Instituto de Ecología, A.C.

HART, SYLVIA A. Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A&M University-Corpus Christi. 6300 Ocean Drive. Corpus Christi, Texas 78412

Herrera-Silveira, Jorge A. Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli Ghinaglia, Francisco A.

Comín y Chris Madden.

Iturriaga, José N. Procuraduría federal de Protección al Ambiente (Profepa).

Jiménez Badillo, Lourdes. Centro de Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Dr. Luis Castelazo s/n. Km 3.5 de la carretera Xalapa-Las Trancas, Col. Industrial Ánimas, Xalapa, Veracruz, México. Apdo. Postal 663. 91000. Telf: (228) 8-13-60-59. Fax: (228) 8-12-57-46. e-mail: ljimenez@uv.mx

Jiménez, Sergio. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Johnston, James. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana 70506.

Johnston, James. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana 70506

Jordán-Dahlgren, Eric. Laboratorio de Sistemas Arrecifales Coralinos, UAPM, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Ap. Postal 1152, Cancún 77500, Q Roo, México. jordan@mar.icmyl.unam.mx.

Justic, Dubravko. Dept. of Oceanography and Coastal Sciences and Coastal Ecology Institute, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

Kemp, G. Paul. Dept. of Environmental Studies, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

Lara Domínguez, Ana Laura. Instituto de Ecología, A.C.

Lara-Domínguez, Ana Laura. Programa de Recursos Costeros, Instituto de Ecología A.C. CONACYT

León, Cuauhtémoc. Programa Lead, México, El Colegio de México.

López-Lemus, Luis Gerardo. Consultoría Transdisciplinaria.

Lot, Antonio. Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70233C.P. 04510 México, D.F. Correo-e: loth@servidor.unam.mx

Machain-Castillo, Ma. Luisa. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-305, Coyoacán D. F. 04510 machain@mar.icmyl.unam.mx

Manuel Ramírez-Flores, Oscar. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Am-

biente (PNUMA).

Márquez-M., René.

Mendoza-Alfaro, Roberto. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

Miranda, Gustavo. Pemex Exploración y Producción, Región Marina Noreste. Cd. del Carmen, Campeche, México.

Mitsch, William. School of Natural Resources and Olentangy River Wetland Research Park, Ohio State University, Columbus, Ohio 43202.

Monreal-Gómez, María Adela. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Morales Arjona, L. J. Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de Yucatán

Morales de la Garza, Eduardo. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

Moreno, Teresa. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Carmen, Cd. del Carmen, Campeche, México.

Moreno-Casasola, Patricia. Instituto de Ecología A.C., México.

Morton, Robert. U.S. Geological Survey, Center for Coastal and Regional Marine Studies, St. Petersburg, Florida 33701

Ojeda de la Fuente, C. Subsecretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de Quintana Roo.

Ortega-Argueta, Alejandro. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana, Av. Luis Castelazo s/n, Col. Industrial Las Animas C.P. 91190, Xalapa, Veracruz, México.

Ortega-Ortiz, Joel G. Oregon State University Marine Mammal Program, Hatfield Marine Science Center, 2030 SE Marine Science Drive, Newport, Oregon 97365, U.S.A. email: joel.ortega@oregonstate.edu

Ortiz Pérez, M. Instituto de Geografía, UNAM.

Pascual, Cristina. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. Post 69, Cd. del Carmen, Campeche, México.

Pérez-Díaz, Esperanza. CINVESTAV Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso Km.6, A.P. 73 Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México.

Rabalais, Nancy N. Louisiana Universities Marine Consortium. 8124 Hwy. 56, Chauvin, Louisiana 70344 U.S.A.

Ramírez-Flores, Oscar. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA.

Rodríguez, Hipólito. CIESAS, Golfo, México..

Rosales-Hoz, Leticia Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Química Marina y Contaminación. Circuito Exterior S/N. Ciudad Universitaria, C.P. 04510. México, D.F.

Rosales-Hoz, Leticia. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

Rosas, Carlos. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. Post 69, Cd. del Carmen, Campeche, México. crv@hp.fciencias.unam.mx

Salas-de-León, David Alberto

Salinas, Wilver.

Sánchez, Ariadna. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. Post 69, Cd. del Carmen, Campeche, México. crv@hp.fciencias.unam.mx

Sánchez-Gil, Patricia. Ecosistemas y Planificación Ambiental para el Desarrollo Sustentable Ecoplads S.C. México.

Steyer, Gregory. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Baton Rouge, Louisiana 70894.

Steyer, Gregory. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Baton Rouge, Louisiana 70894.

Templet, Paul. Dept. of Environmental Studies, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803.

Theriot, Russell. Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi 39180.

Toledo, Alejandro. Instituto Nacional de Ecología-Semarnat. México

Tunnell, John W. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A&M University-Corpus Christi. 6300 Ocean Drive. Corpus Christi, Texas 78412

Vázquez de la Cerda, Alberto Mariano. Investigador titular C del Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. Académico y Asesor en la Secretaría de Marina.

Vázquez García, Aquilino. Instituto Nacional de Ecología-Semarnat. Correo-e: aqvazque@ine.gob.mx

Velarde González, Enriqueta. Centro de Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Luis Castelazo Ayala s/n, km 3.5 Carretera Xalapa-Las Trancas-Veracruz, Xalapa, Veracruz, C.P. 91190.

Velasco-Mendoza, Habacuc.

Villanueva-Fragoso, Susana. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Contaminación Marina.

Yáñez-Arancibia, Alejandro. Programa de Recursos Costeros, Instituto de Ecología A.C CONACYT

Young Ko, Jae. Coastal Ecology Institute, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

Zárate Lomelí, D. Instituto de Ecología, A.C.

Diagnóstico ambiental del Golfo de México,
compilado por Margarita Caso,
Irene Pisanty y Exequiel Ezcurra
se terminó de imprimir
en los talleres gráficos de la empresa
SyG, Cuapiniol 20,
col. Pedregal de...
durante el mes de agosto de 2004,
de acuerdo con los términos
de referencia de la invitación
restringida INE-3IP/009-04

Se tiraron 1,000 ejemplares.