

Gaspar González Sansón

BIODIVERSIDAD MARINA Y DESARROLLO:

Conflictos y soluciones en el Caribe

SERVICIO DE
PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD
DE CÁDIZ

Biodiversidad marina y desarrollo: Conflictos y soluciones en el Caribe

Dr. Gaspar González Sansón
Profesor Titular
Centro de Investigaciones Marinas
Universidad de la Habana, Cuba

**Apuntes para un curso de verano impartido en la Universidad de Cádiz
julio del 2000**

González Sansón, Gaspar

Biodiversidad marina y desarrollo: conflictos y soluciones en el Caribe / Gaspar González Sansón; coordinadora María del Pilar Martín del Río. --Cádiz: Universidad, Servicio de Publicaciones, 2002. -- p.

ISBN 84-7786-780-1

1. Diversidad biológica - Caribe (Región). 2. Política ambiental - Caribe (Región). I. Martín del Río, María del Pilar, coord. II. Universidad de Cádiz. Servicio de Publicaciones, ed. III. Título

574 (261.65)

Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz

Diseño: Cadigrafía.

Maquetación y fotomecánica: Produce.

I.S.B.N.: 84-7786-780-1

Depósito Legal: CA-632/02

Imprime: Imprenta Repeto

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere dejar constancia de su gratitud a un grupo de personas que, de una forma u otra contribuyeron a la realización y publicación de esta obra.

Las profesoras de la Universidad de Cádiz, Dra. María del Pilar Martín del Río y Dra. Inmaculada Díaz Narbona, jugaron un papel decisivo en la organización y puesta en marcha de la colaboración entre la UCA y la Universidad de la Habana. Gracias a ello tuve la oportunidad de participar en varios cursos de verano y madurar muchas de las ideas aquí expuestas. Vaya mi agradecimiento también a las decenas de estudiantes españoles con los que tuve el honor de compartir esos cursos y de los cuales recibí innumerables observaciones que contribuyeron a mejorar muchos de los tópicos aquí tratados.

En el proceso de edición y revisión del texto, recibí un apoyo inestimable del Profesor Dr. Juan Miguel Mancera, de la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales de la UCA. A este amigo le agradezco especialmente por todo su apoyo y paciencia en el proceso de preparación del material para la imprenta. La MSc. Consuelo Aguilar Betancourt, del Centro de Investigaciones Marinas, realizó una minuciosa revisión del texto y contribuyó con numerosas y acertadas sugerencias. Las observaciones realizadas por un revisor anónimo permitieron mejorar notablemente algunos aspectos del texto, cosa que agradezco sinceramente. Los errores u omisiones que aún se puedan hallar son, sin embargo, de mi entera responsabilidad.

CONTENIDO

1. La región del Caribe

1.1 Definición.....	7
1.2 Oceanografía.....	8
1.3 Clima.....	13
1.4 Aspectos sociales y económicos.....	13
1.5 Organizaciones ambientales regionales y marco legal internacional	16

2. Biodiversidad marina en el Caribe

2.1 Conceptos generales.....	19
2.2 Biogeografía marina.....	25
2.3 Especies marinas amenazadas.....	28
2.4 Ecosistemas principales.....	30
2.5 Manglar.....	33
2.6 Sistemas estuarinos y fondos fangosos de plataforma.....	37
2.7 Pastizales marinos.....	38
2.8 Arrecifes de coral.....	40

3. Procesos naturales principales que intervienen en el mantenimiento de la biodiversidad marina

3.1 Procesos físicos.....	45
3.2 Producción primaria.....	50
3.3 Herbivorismo.....	54
3.4 Reciclado de los nutrientes.....	54
3.5 Producción de carbonato de calcio.....	55
3.6 Interacciones entre los ecosistemas costeros.....	56
3.7 Servicios de los ecosistemas.....	57

4. Impacto humano sobre la biodiversidad marina

4.1 Pesquerías y acuicultura.....	63
4.2 Aguas de albañal y residuales industriales.....	71
4.3 Hidrocarburos del petróleo.....	74
4.4 Erosión y sedimentos.....	75

4.5 Nutrientes	78
4.6 Pesticidas	79
4.7 Basura sólida y desechos marinos	81
4.8 Sustancias tóxicas	82
4.9 Destrucción de hábitats	83
4.10 Disminución del escurrimiento	83
5. Soluciones a los problemas ambientales	
5.1 Regulación de las pesquerías	87
5.2 Control de la contaminación	95
5.3 Turismo sostenible	98
5.4 Areas marinas protegidas	103
5.5 Manejo integrado de la zona costera	105
6. Bibliografía	107

1. La región del Caribe

1.1 Definición

En un sentido estricto, el nombre de Mar Caribe (o Mar de las Antillas) se da a una masa de agua marginal adyacente al Océano Atlántico. El mar Caribe está ubicado en la región tropical de las Américas y tiene una extensión de 2 515 900 km² (Richards y Bohnsack, 1990) y una profundidad media de 4400 m (Fairbridge, 1966). Está limitado al norte por las Antillas Mayores, al este por el arco de las Antillas Menores, al sur por Venezuela y Colombia y al oeste por la América Central y una porción de la península de Yucatán, México (Figura 1.1).

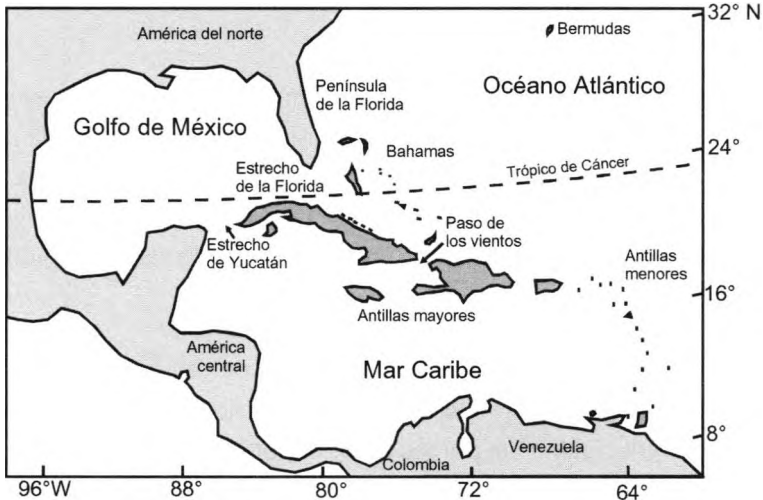


Figura 1.1 Mar Caribe y regiones adyacentes (Región del Gran Caribe)

En un sentido amplio, se ha impuesto en los últimos años el término “Gran Caribe” para referirse a una región que incluye al mar Caribe propiamente dicho, el Golfo de México y algunas regiones adyacentes, como son el banco de Bahamas, la porción suroriental de la Florida y, en algunos casos extremos, las Bermudas y una

porción de extensión variable de la costa atlántica de Venezuela, las Guayanas y Brasil al este del arco de la Antillas Menores (UNEP, 1996 a). La porción marina de esta región ampliada se ha estimado en 4 310 000 km² (UNEP, 1989).

Como se verá más adelante, desde un punto de vista ecológico y biogeográfico, la mitad norte del Golfo de México y la costa de América del sur a partir de la desembocadura del Orinoco constituyen unidades diferentes con respecto a la cuenca del Caribe propiamente dicha y las Bahamas. En términos generales los análisis se van a concentrar en el Caribe propiamente dicho y algunas regiones inmediatas (Bahamas y porción sur de la Florida), aunque frecuentemente será imposible aislar la información de la que se ofrece para el Gran Caribe en general, pues esa es la unidad regional reconocida por la mayoría de los organismos internacionales. Esto no es malo, pues algunos ejemplos de las costas de los Estados Unidos y de México en el Golfo de México y de las Guayanas y Brasil en el Atlántico centro-occidental son perfectamente aplicables en este contexto.

1.2 Oceanografía

El área oceánica del mar Caribe está parcialmente aislada del Océano Atlántico debido a que la mayoría de los pasajes que existen entre las islas de la Antillas son relativamente poco profundos. Sólo en algunos sitios existen pasos más profundos, por donde penetra el agua del Atlántico que se mueve dentro de la región en una dirección general desde el este hacia el oeste, en una capa de unos 1500 metros de profundidad.

Una parte muy importante del agua transportada por la corriente de las Guayanas (la cual se mueve de este a oeste a lo largo de la costa norte de América del sur) penetra al mar Caribe principalmente por los pasos al norte y sur de la isla de Santa Lucía (Antillas Menores). El resto del agua transportada por la corriente de las Guayanas fluye hacia el norte y el oeste donde se une a la corriente Ecuatorial del Norte para continuar su movimiento hacia las Bahamas. Parte de las aguas de esa corriente penetran también al mar Caribe a través del paso de los Vientos (Windward Passage) mientras que, del resto, una porción fluye entre la costa norte de Cuba y el Gran Banco de Bahamas y la otra parte se mueve a lo largo del borde Atlántico del banco de

Bahamas, formando la corriente de las Antillas. Ambas ramas terminan incorporándose a la corriente del Golfo (Fairbridge, 1966).

Las aguas que penetran al mar Caribe por los pasos de Santa Lucía forman la corriente del Caribe (Figura 1.2). Esta es una corriente local permanente, que transporta agua desde la parte oriental del Caribe hasta el estrecho de Yucatán, por donde fluye hacia el Golfo de México. El eje de la corriente forma una ligera curva y en general se ubica sobre las zonas más profundas. La velocidad de la corriente varía con la época del año, pudiendo llegar a ser de $136 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ (2.7 nudos) con un valor promedio de $38 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ (0.7 nudos), según Fairbridge (1966). Los flujos al norte y al sur del eje de la corriente son en esencia paralelos a éste, disminuyendo la velocidad a medida que se alejan del mismo.

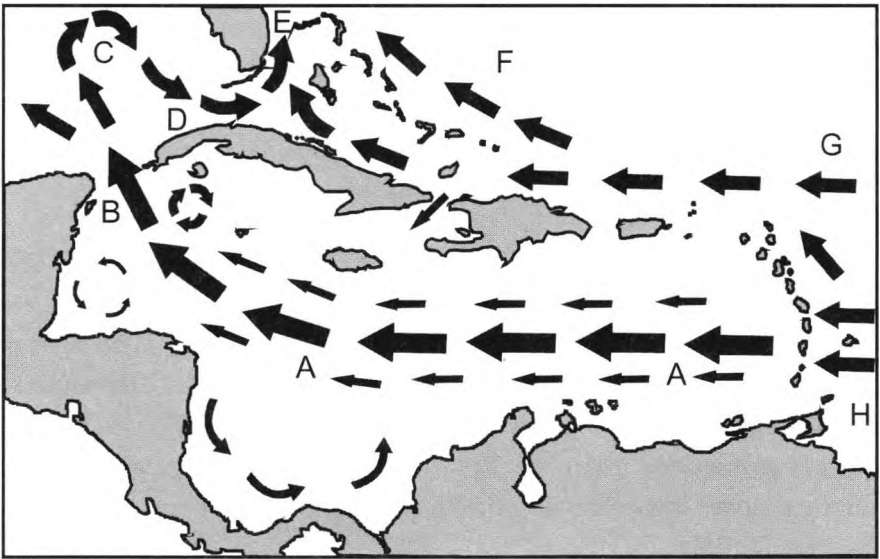


Figura 1.2 Esquema de la circulación superficial de las aguas en el mar Caribe y las regiones adyacentes. Corrientes principales: A. Del Caribe, B. De Yucatán, C. De lazo ("Loop"), D. De la Florida, E. Del Golfo, F. De las Antillas, G. Ecuatorial del norte, H. De las Guayanas

Las aguas que fluyen a través del estrecho de Yucatán forman la corriente de Yucatán, la cual penetra en la porción oriental del Golfo de México y hace un amplio giro anticiclónico que se conoce como corriente de lazo ("loop current"). Esta a su vez contribuye en gran medida a la formación de la corriente de la Florida que finalmente tributa a la corriente del Golfo. En determinadas zonas de la cuenca se produ-

cen contracorrientes y giros importantes a menor escala y más cerca de la costa, pero su análisis detallado escapa al alcance de esta obra. Más adelante, cuando se discutan los procesos físicos vinculados a la dinámica de los ecosistemas costeros, se analizarán algunos casos particulares de importancia.

Las aguas oceánicas superficiales de la región son típicamente cálidas, con variaciones espaciales ligeras que van de 30 °C en la región SE del Golfo de México y las Bahamas a 26 °C en la zona SE del mar Caribe durante el verano. En el invierno las temperaturas son un poco más bajas y varían desde 23-25 °C en el SE del Golfo de México y las Bahamas hasta 26 °C en la región central del mar Caribe (ICGC, 1978).

Las aguas neríticas (sobre la plataforma submarina) sufren cambios más notables debido a la menor profundidad, sobre todo en las plataformas insulares, muy someras. Estos cambios son aún más marcados en las zonas estuarinas y de lagunas costeras. La variación espacial y temporal puede llegar a ser grande y se distribuye de forma heterogénea por toda la región. Particular interés tiene la anomalía de la temperatura superficial que se observa en la región nororiental de la costa caribeña de Venezuela, cerca de la isla de Trinidad (Cervigón *et al.*, 1992). En esta zona, los vientos del este paralelos a la costa provocan un afloramiento costero que se identifica porque las aguas de superficie son anormalmente frías (22 – 26 °C).

La distribución vertical de la temperatura en las aguas oceánicas sigue el modelo típico de los océanos tropicales, con una termoclina bien desarrollada que se inicia a una profundidad variable de acuerdo a la época del año y la zona de que se trate. Fairbridge (1966) indica que la profundidad de inicio de la termoclina en el Caribe está entre 100 y 200 metros. En las aguas alrededor de Cuba, se ha encontrado que esa profundidad está entre 30 y 60 metros en verano y de entre 80 y 150 metros en invierno, dependiendo notablemente del mes y la zona de que se trate (Siam y García, 1981).

Una termoclina bien desarrollada implica que en la región oceánica del mar Caribe predomina una fuerte estratificación de las aguas superficiales, dando lugar a lo que Herbrand y Voituriez (1981) denominaron la “Estructura Tropical Típica (ETT)”. La consecuencia más importante de este fenómeno es que el paso hacia la superficie de las aguas profundas ricas en nutrientes es muy limitado por la barrera física que representa la picnoclina asociada a la termoclina, con la consecuencia de que la producción primaria es extraordinariamente baja (Longhurst y Pauly, 1987; Mann y Lazier, 1991). Este es el principal motivo por el cual la porción oceánica del mar

Caribe, como las grandes cuencas oceánicas, es muy oligotrófico y se le considera prácticamente un desierto.

En las aguas neríticas la estructura vertical es continuamente alterada por un conjunto de fenómenos físicos que producen la mezcla de las aguas. Entre estos fenómenos se encuentran las corrientes de mareas, las ondas internas, el oleaje y los fenómenos de surgencia.

Desde el punto de vista ecológico, las variaciones de la salinidad tanto verticales como horizontales son insignificantes en la región oceánica de la cuenca del Caribe, vista en su sentido amplio (es decir, incluyendo parte del Golfo de México, las aguas atlánticas adyacentes y el banco de Bahamas). Los valores fluctúan entre 34 y 36 partes por mil para toda el área, con algunos casos ligeramente por encima o por debajo de estos límites.

En las aguas neríticas la situación es muy diferente y se pueden observar notables gradientes de salinidad asociados, sobre todo, a los sistemas estuarinos que existen en regiones con gran influencia fluvial. Estas variaciones se verán con más detalle al tratar los ecosistemas implicados.

Los gases disueltos más importantes, desde el punto de vista ecológico, son el oxígeno y el dióxido de carbono. El primero porque es esencial para la vida animal y el segundo porque juega un papel muy importante en el mantenimiento del pH del agua de mar, en los procesos de deposición de carbonatos y el metabolismo vegetal.

El oxígeno se encuentra disuelto en el agua de mar tropical superficial en concentraciones 40 veces más bajas que en la atmósfera (210 ml de O₂/litro de aire; 5 ml de O₂/litro de agua de mar a 28 °C). La concentración de oxígeno en el agua oceánica de la región del Caribe (*sensu lato*) sigue una distribución muy similar a la del resto de los océanos, siendo las variaciones verticales las más importantes. Según Fairbridge (1966) se observan valores medios de 4,2 ml O₂ · l⁻¹ cerca de la superficie, valores mínimos por debajo de 3 ml O₂ · l⁻¹ a profundidades de unos 500 metros y valores máximos de 5,5 a 6 ml O₂ · l⁻¹ en las profundidades cercanas al fondo de los pasos (1000 - 2000 metros). En cualquier caso, el oxígeno constituye muy raramente un factor de importancia ecológica en las aguas abiertas, aunque las condiciones anóxicas juegan un papel importante en los procesos ecológicos que ocurren en los sedimentos de los sistemas costeros, principalmente los estuarinos.

En notable contraste con el oxígeno, el carbono inorgánico disuelto en agua de mar se encuentra en concentraciones 130 veces superiores a las que presenta en la atmósfera, debido a que el dióxido de carbono forma un sistema en equilibrio con los iones bicarbonato y carbonato. Este es un sistema tampón cuyo equilibrio está fuertemente asociado con el pH del agua de mar, que en condiciones naturales es de alrededor de 8,3 (ligeramente básico). Como es característico en las aguas tropicales, existen condiciones cercanas a la sobresaturación y ligeros cambios en el pH, producidos principalmente por la actividad biológica, provocan la deposición de carbonato de calcio. Es conocido que la existencia de las formaciones coralinas está vinculada a esta característica del sistema de los carbonatos, por lo que algunos detalles del proceso serán vistos en el capítulo correspondiente.

En general se reconoce que los dos elementos principales que limitan la producción primaria en el océano son el nitrógeno y el fósforo. El primero puede aparecer principalmente en forma de iones amonio, nitritos o nitratos, siendo dominante la última forma. El fósforo aparece principalmente como fosfato. Tanto los nitratos como los fosfatos, se encuentran en concentraciones muy bajas en las aguas oceánicas tropicales, y el mar Caribe y las regiones adyacentes no son excepciones. En los primeros 100 metros se aprecian concentraciones de 1 a 3 $\mu\text{at-g/litro}$, que resultan por debajo de los requerimientos vegetales. Típicamente, estas concentraciones aumentan paulatinamente con la profundidad y se hacen relativamente constantes a partir de los 1000 metros de profundidad con valores de 18 a 20 $\mu\text{at-g/litro}$ de fósforo en forma de fosfato y de 20 a 25 $\mu\text{at-g/litro}$ de nitrógeno en forma de nitrato. Estas son concentraciones relativamente altas, pero están en general fuera del alcance de los productores primarios como consecuencia de la estratificación de las aguas tropicales.

En las aguas neríticas la situación cambia notablemente, debido a que los arrastres desde tierra suministran cantidades considerables de fosfatos, nitratos y otras sustancias que a la larga liberan nutrientes. Esto hace que las aguas costeras sean más ricas y que la variabilidad en la distribución de los nutrientes sea muy grande, por lo cual casi no se pueden realizar generalizaciones útiles. Tal vez una excepción sea el hecho, reconocido universalmente, de que el represamiento de los ríos y en general el debilitamiento de la descarga fluvial y el escurrimiento hacen que disminuya sensiblemente el aporte terrígeno, con graves consecuencias para la productividad de los ecosistemas marinos costeros. En el sentido opuesto, el incremento anormal de las concentraciones de fosfatos y nitratos en las aguas que escurren, como con-

secuencia de las prácticas agrícolas y otras actividades humanas, así como el incremento de materia orgánica producto de la actividad doméstica e industrial del hombre provoca también serios problemas que serán tratados en detalle en el capítulo correspondiente.

1.3 Clima

El clima general de la región es tropical. Existen dos estaciones del año, una de lluvia (aproximadamente verano y otoño) y otra de secas (invierno y comienzos de primavera), aunque la diferencia entre ambas puede variar notablemente dependiendo de la zona. Así, la costa caribeña de América Central presenta un valor promedio anual alto de precipitaciones, mientras que la costa de Venezuela tiende a ser más bien seca.

En los meses invernales, principalmente en enero y febrero, se presentan con frecuencia frentes fríos, denominados también “nortes”, los cuales son generados por masas de aire polar que avanzan hacia el sur. Estos frentes provocan un cambio en el régimen habitual de vientos (que predominantemente son los Alisios, que soplan desde dirección E al NE), una disminución drástica de las temperaturas e incrementan notablemente el oleaje en algunas zonas. En general repercuten sobre el hidroclima marino, provocando cambios de significación ecológica. Su efecto disminuye notablemente en la porción sur de la cuenca.

Existe también una temporada ciclónica, durante la cual se forman con bastante frecuencia huracanes. Estos tienen su origen, en la mayor parte de las veces, en el Océano Atlántico central, aunque algunos se pueden formar dentro de la propia región del Caribe. Estas tormentas pueden llegar a tener gran fuerza y persistencia (vientos de más de 200 km por hora) y provocan alteraciones muy notables en los ecosistemas marinos.

1.4 Aspectos sociales y económicos

Dentro de la región del Gran Caribe se aprecia, como característica esencial, una variedad notable de pueblos, culturas, idiomas y sistemas políticos. Esto se suma a una variación notable en la geomorfología marina y costera y a la existencia de una

alta diversidad de especies y ecosistemas (UNEP, 1989). El aspecto económico es muy importante y se debe destacar la gran disparidad que existe en el desarrollo de los países de la región, en su tamaño y en el nivel de dependencia económica de sus antiguas metrópolis (Tabla 1.1).

PAÍSES Y TERRITORIOS	SUPERFICIE (km ²)	POBLACIÓN (miles)	PIB/HAB. USD
Anguila (R.U)	96	8	
Antigua y Barbuda	440	69	9 370
Aruba (Hol.)	193	84	
Bahamas	13 939	301	11 395
Barbados	430	269	8 717
Belice	22 965	235	2 741
Colombia	1 138 914	41 564	2 515
Costa Rica	51 100	3 933	2 793
Cuba	110 922	11 160	2 194
Dominica	751	75	3 530
Fed. Ant. Hol. (Hol.)	800	175	
Granada	344	85	2 997
Guatemala	108 889	11 090	1 760
Guadalupe (Francia)	1 780	400	
Guayana (Francia)	90 000	115	9 094
Guyana	214 969	855	846
Haití	27 750	8 087	443
Honduras	112 088	6 315	870
Islas Caimán (R.U.)	259	29 000	
Islas Vírgenes (R.U.)	153	17	
Islas Vírgenes (U.S.A.)	352	107	
Jamaica	10 991	2 561	2 707
Martinica (Francia)	1 100	392	11 866
México	1 958 201	97 366	4 324
Montserrat (R.U.)	102	11 000	
Nicaragua	10 333	4 938	442
Panamá	75 517	2 812	3 287
Puerto Rico (U.S.A.)	8 897	3 839	14 488
República Dominicana	48 308	8 365	1 925
St. Kitts and Nevis	262	42	7 440
St. Lucia	617	136	4 081
St. Vincent and Gran.	388	112	2 815
Suriname	163 265	416	2 454
Trinidad y Tobago	5 130	1 288	4 622
Turks y Caicos (R.U.)	430	13	
U.S.A.	9 372 614	276 219	31 059
Venezuela	916 445	23 706	4 107

Tabla 1.1 Datos de superficie, población y Producto Interno Bruto (PIB) por habitante de los países y territorios del Gran Caribe

Aproximadamente el 75 % de la población de América Latina y el Caribe vive en ciudades y 60 de las 77 ciudades más grandes de la región se encuentran en la costa (Lemay, 1998). Este patrón se cumple bastante bien en el Gran Caribe, aunque es de resaltar que las capitales de los países de América Central se encuentran más próximas la costa del Pacífico, donde se concentra realmente la población de esa subregión, cuyas costas caribeñas están en un estado general de poco desarrollo.

Una parte de la población costera del Gran Caribe está formada por grupos indígenas, entre los cuales se pueden citar los Garífunas, los Caribes, los Miskitos, y los Guajiros o Wajúu (Lemay, 1998). Estos grupos han dependido tradicionalmente de los recursos marinos y costeros para su subsistencia, lo que da una connotación especial a algunos de los problemas que se presentan en la zona costera de esta región.

El estado general del ambiente marino de la región del Gran Caribe está fuertemente vinculado a las condiciones sociales, culturales y políticas de la misma. En estas se deben resaltar las condiciones económicas y las restricciones financieras que prevalecen en la mayoría de los países y territorios. Un ejemplo de esto último es que el incremento de la deuda externa ha hecho que muchos países promuevan el desarrollo de una agricultura dirigida a la exportación. Esto ha provocado un incremento significativo en el uso de pesticidas, de fertilizantes artificiales y de otros agroquímicos, cuyo destino final, en gran parte, son las aguas marinas costeras. (UNEP, 1989).

Según un informe reciente de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2000), el número de pobres en América Latina y el Caribe es hoy más alto que nunca: 224 millones. En ese mismo informe se puede leer: "junto con la equidad, el desarrollo y la ciudadanía, la concepción integrada del desarrollo que plantea la CEPAL comprende la dimensión de sostenibilidad. Por ello, la región debe incorporar efectivamente la agenda del desarrollo sostenible, cuya penetración en las políticas públicas y en las preocupaciones ciudadanas no se ha traducido todavía en la contención de los procesos de deterioro ambiental ni en la elaboración de concepciones que valoren tal sostenibilidad no como un costo sino como una oportunidad. En consecuencia, se advierte una cierta fragilidad e inestabilidad de las instituciones abocadas al desarrollo sostenible, que cuentan con escasos recursos para hacer frente a sus grandes responsabilidades."

1.5 Organizaciones regionales ambientales y marco legal internacional

En la región del Gran Caribe existen varias organizaciones que contribuyen de una forma u otra a la protección de la biodiversidad marina. A continuación se presentan las más importantes:

a. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

La expresión regional del PNUMA en el Caribe es el Programa Ambiental del Caribe, coordinado a partir de 1986 por la Unidad de Coordinación Regional, ubicada en Kingston, Jamaica. En 1981 se estableció el Plan de Acción del Caribe, con los propósitos siguientes:

- Asistencia a todos los países de la región, reconociendo la situación especial de las islas más pequeñas.
- Coordinación de actividades de asistencia internacional.
- Fortalecimiento de las instituciones nacionales y subregionales existentes.
- Cooperación técnica en el uso de los recursos humanos, financieros y naturales de la región.

En 1983 se firmó la Convención para la Protección y el Desarrollo del Ambiente Marino en la Región del Gran Caribe (Convención de Cartagena), con el objetivo principal de que sirviera como instrumento legal para la ejecución del Plan de Acción. Este acuerdo está respaldado por protocolos operacionales relativos a:

- Cooperación en el combate de los derrames de hidrocarburos
- Areas y flora y fauna silvestres especialmente protegidas
- Fuentes terrestres de contaminación marina

b. IOCARIBE

Esta es la subcomisión (establecida en 1982) para el Gran Caribe de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI). Los orígenes de esta organización se remontan a 1968 cuando se estableció el programa CICAR (Cooperative Investigations of the Caribbean and Adjacent Regions). Los objetivos declarados de IOCARIBE son:

- Desarrollar, promover y facilitar programas oceanográficos internacionales (procesos regionales críticos).
- Asegurar el planeamiento efectivo para el establecimiento y coordinación de un sistema regional operacional de observación para el pronóstico oceánico y atmosférico.
- Liderazgo internacional en programas de educación, entrenamiento y asistencia técnica para el monitoreo de costas y océanos.
- Asegurar que la información oceanográfica obtenida esté disponible en forma apropiada para los que toman las decisiones.

c. COPACO (Comisión de Pesca para el Atlántico Centro-Occidental)

Conocida también por sus siglas en inglés (WECAFC), esta comisión se creó en 1973 y tiene su sede en Barbados. Sus objetivos principales son: facilitar la coordinación de la investigación, estimular la educación y el entrenamiento, asistir a los gobiernos miembros en el establecimiento de políticas racionales y promover el manejo racional de los recursos que son interés de dos o más países.

d. CARICOM (Caribbean Community)

Dentro de la Comunidad de Estados del Caribe (CARICOM), se destaca el Programa para la evaluación y el manejo de los recursos pesqueros caribeños (CFRAMP) que tiene su sede en Belice. Entre otros proyectos, esta organización coordina actualmente a nivel regional un interesante Proyecto para el Manejo de los

Recursos Costeros Basado en las Comunidades (CBCRM), ejecutado con fondos del CIID de Canadá.

Además de las organizaciones regionales mencionadas anteriormente y específicamente de la Convención de Cartagena, existen instrumentos legales a nivel mundial que obviamente se aplican también en la región. Entre los principales se encuentran los siguientes:

- Convenio sobre la diversidad biológica (Convención de la Biodiversidad). Entró en vigor en 1993.
- Convención de la ONU sobre la Ley del Mar (UNCLOS). Entró en vigor en 1994.
- Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de la fauna y la flora silvestres (CITES). En vigor desde 1973.
- Convención sobre la conservación de especies migratorias de animales silvestres (CMS). En vigor desde 1979.
- Convención Ramsar sobre humedales de importancia internacional (1971).

2. Biodiversidad marina en el Caribe

2.1 Conceptos generales

La palabra biodiversidad es una contracción del término diversidad biológica. Este concepto se refiere básicamente a la variabilidad de las formas vivientes. Actualmente está muy difundido el criterio según el cual se definen tres niveles de la biodiversidad: genética, de especies y de ecosistemas (Norse, 1993). A continuación se hacen algunos comentarios esenciales sobre estos tres niveles.

a. Diversidad genética

Expresa la variación heredable dentro y entre poblaciones. En última instancia, es la variación que existe en las secuencias de bases de los ácidos nucleicos que constituyen el código genético. Esta variación surge constantemente como consecuencia de las mutaciones y es la base para los procesos evolutivos y de la selección artificial. También se considera dentro de la diversidad genética, la variación en el contenido de ADN por célula y la estructura y número de los cromosomas.

Se estima que solo una fracción muy pequeña del material genético de los organismos superiores se expresa en la forma y funcionamiento de los organismos. El papel del ADN restante y el significado en las variaciones del mismo, permanece sin dilucidar.

Un aspecto importante es que las especies existen formando poblaciones que pueden tener muy poco o ningún intercambio genético. La definición de unidades de población diferentes y el flujo genético entre ellas puede ser un aspecto clave de la conservación. Es preciso reconocer, sin embargo, que el nivel de conocimiento de la diversidad a este nivel es aún muy pobre, en particular en el medio marino. Por eso, aunque el reconocimiento de la diversidad genética es un aspecto clave para mejorar nuestros enfoques de la conservación, en la práctica su uso es aún muy limitado.

Según GESAMP (1997), las especies marinas tienen una diversidad genética mayor que las de agua dulce o las terrestres. Grassle (1991) afirma que una proporción considerable de la diversidad genética del planeta se encuentra probablemente en los organismos de las zonas profundas del océano, y recomienda que se estudie genéticamente la fauna que habita alrededor de las fuentes hidrotermales profundas (GESAMP, 1997).

b. Diversidad de especies

En la gran mayoría de los casos, cuando personas no especializadas hablan de biodiversidad generalmente están considerando, implícitamente, que este término es sinónimo del número de especies (riqueza de especies) en un sitio determinado. De hecho, la diversidad de especies es la mejor comprendida por los especialistas, por el público en general y por los tomadores de decisiones, por lo que la mayoría de los análisis se concentran en este nivel.

El número de especies marinas es mucho menor que el de especies terrestres. Barnes y Hughes (1988), afirmaron que el número total de especies (descritas y no descritas) debe estar alrededor de 5 millones, mientras que el total de especies marinas no supera las 250 000. Una estimación más reciente sitúa el número total de especies en 1.75 millones, sin contar los microbios (Heywood y Watson, 1995 cit. por GESAMP, 1997), mientras que May (1992) sugiere que el número total de especies marinas de aguas profundas podría llegar a 500 000, cifra que incrementaría en 300 000 el número de especies marinas conocidas actualmente (GESAMP, 1997).

Cuando se analiza la diversidad de taxones superiores (GESAMP, 1997 la denomina "diversidad filética"), se observa que ésta es mucho mayor en el mar que en la tierra. Según GESAMP (1997), hay 35 *Phylla* marinos, de los cuales 14 son exclusivos de este ambiente. En tierra, sin embargo, la vida está dominada ampliamente por unos pocos grupos (hongos ascomicetos y basidiomicetos, plantas traqueofitas, artrópodos quelicerados y unirrámeos, y los cordados tetrápodos), según afirman Barnes y Hughes (1988).

Las cifras anteriores dan una pista sobre un aspecto esencial del origen y evolución de las especies. En tierra las barreras geográficas son muchas y esto propició el

aislamiento de poblaciones y el surgimiento de nuevas especies en mucha mayor medida que el mar, un medio mucho más homogéneo (aunque también posee barreras importantes a la dispersión). Para reforzar esta afirmación, está el dato de que apenas un 2 % de las especies marinas vive en la masa de agua (especies pelágicas), mientras que el resto vive en el fondo o en estrecha relación con el mismo (especies bentónicas), donde las barreras son mucho más frecuentes (Barnes y Hughes, 1988). Otro argumento que se ha utilizado para explicar el mayor número de especies bentónicas es que la fauna marina se originó en los sedimentos marinos (GESAMP, 1997). Por otra parte, dentro del dominio pelágico, el número de especies es muy superior en las aguas costeras con respecto a las oceánicas (Angel, 1993 cit. por GESAMP, 1997).

Algunos autores hablan de una “diversidad funcional”. Según este criterio las especies de un determinado lugar se agrupan de acuerdo a la función que realizan en el ecosistema. Esto trae aparejado el concepto de redundancia funcional, según el cual existen en la naturaleza más especies que las que serían necesarias para la realización eficiente de las funciones tróficas y biogeoquímicas (GESAMP, 1997). Este es un tópico en debate actualmente.

En la práctica es común que la diversidad se calcule para un grupo taxonómico (taxocenosis) o un conjunto de grupos taxonómicos que son definidos esencialmente por el método de muestreo utilizado. Así es frecuente ver análisis de la diversidad de algas, de crustáceos, de invertebrados sésiles, del mesobentos, de peces, etc. Por otra parte, algunos autores han hecho una distinción en el análisis de la diversidad de acuerdo a la escala. A continuación se presenta una clasificación bastante difundida (GESAMP, 1997):

- Diversidad alfa o intra-habitat. Es la que se determina dentro de un habitat homogéneo.
- Diversidad beta o inter-habitats. Es la que se calcula a mayor escala incluyendo hábitats diferentes.
- Diversidad gamma o regional. Es la que se calcula a una escala regional que algunos sitúan en los cientos de kilómetros. Recientemente se ha propuesto denominarla “diversidad de paisaje”.

Un análisis detallado de la biodiversidad marina del Gran Caribe trasciende el propósito de esta obra. En su lugar, se presenta el ejemplo de Cuba (Tabla 2.1), donde un inventario de los grupos mejor estudiados permite reconocer la gran diversidad de formas vivientes en las aguas del Caribe.

c. Diversidad de ecosistemas

La definición de diversidad a nivel de ecosistemas es aún polémica, pues no existe una clasificación única de los ecosistemas. Estos, además, no son entidades puramente biológicas (como los genes y las especies), ya que incluyen los factores abióticos (Figura 2.1). No obstante, hay bastante consenso en reconocer la extraordinaria importancia de concebir la biodiversidad a este nivel y de hecho varios enfoques modernos de manejo y conservación de la biodiversidad utilizan el concepto de ecosistema como unidad básica.

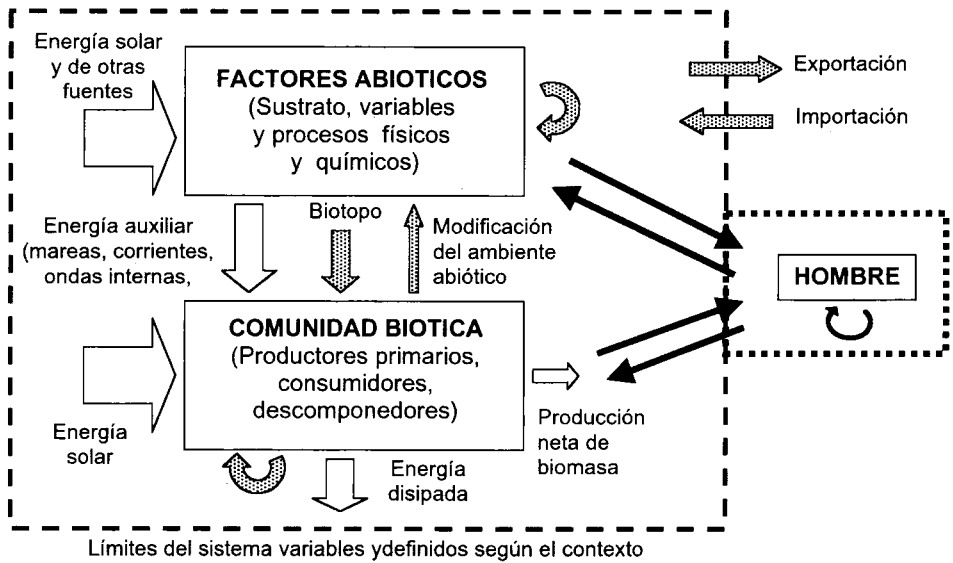


Figura 2.1 Un modelo generalizado de los ecosistemas marinos

Un importante criterio en contra de lo anterior es el de GESAMP (1997), que luego de presentar algunas opiniones sobre el tópico, aclara que no utilizará el término “diversidad de ecosistemas”. En su lugar plantea la existencia de una “diversidad de

hábitats”, término que considera más útil que el de “diversidad de ecosistemas”, pues los hábitats tienen límites definidos, mientras que los ecosistemas no. Obviamente este concepto está íntimamente asociado a la clasificación de la diversidad de especies que toma en cuenta la escala del análisis y que se presentó anteriormente.

Se ha planteado (Soulé, 1991) que el nivel de ecosistema incluye no solo la variación entre diferentes tipos de ecosistemas (estuarios, arrecifes de coral, pastizales, etc.) sino también la variabilidad notable dentro del mismo tipo de ecosistema (p.e., diferentes tipos de arrecifes de coral).

Grupos Taxonómicos Seleccionados	Especies reportadas	Especies probables
Phyllum Porifera	250	600
Phyllum Coelenterata	160	250
Orden Gorgonacea	52	
Orden Scleractinea	59	
Orden Actinaria	12	
Orden Antipataria	11	
Phyllum Mollusca	1479	1800
Clase Gastropoda	1057	
Clase Polioplacophora	26	
Clase Pelecipoda	320	
Clase Scaphopoda	39	
Clase Cephalopoda	36	
Phylum Annelida		
Clase Polychaeta	338	
Phyllum Arthropoda		
Subphyllum Crustacea	981	1600
Orden Ostracoda	19	30
Orden Copepoda (plancton)	115	150
Orden Copepoda (parásitos)	6	20
Orden Cirripedia	10	30
Orden Stomatopoda	16	
Orden Mysidacea	20	100
Orden Amphipoda	123	300
Orden Isopoda	65	300
Orden Decapoda	497	
Echinodermata	393	520
Clase Ophiuroidea	158	
Clase Holothuroidea	45	
Clase Crinoidea	34	
Clase Echinoidea	69	
Chordata		
Subphyllum Urochordata		
Clase Ascidiacea	76	
Subphyllum Vertebrata	906	1200
Clase Chondrichthyes	65	
Clase Osteichthyes	878	
Clase Reptilia		
Orden Chelonia	4	4
Clase Mammalia	3	3

Tabla 2.1 Número de especies animales en los principales grupos representados en el ambiente marino en Cuba (tomado de CENBIO, 1998)

Existen algunos aspectos del ambiente marino que son esenciales para comprender las particularidades de la biodiversidad (en todas sus acepciones) en ese medio, sobre todo si se le compara con el medio terrestre. A continuación se hace un apretado resumen de estas peculiaridades, siguiendo principalmente la opinión de Norse (1993):

- El agua de mar tiene una densidad muy superior a la del aire, lo que propicia mayor flotabilidad a los organismos. Esto permite la existencia de una formación única llamada plancton, la cual está integrada por un número de especies (generalmente muy pequeñas) pertenecientes a diferentes categorías taxonómicas que se desarrollan en suspensión dentro de la masa de agua.
- Junto a las especies que desarrollan todo su ciclo vital en el plancton (holoplancton), se encuentran también los huevos y larvas de innumerables especies que viven en suspensión solo una parte de su vida (meroplancton). En efecto, la gran mayoría de los organismos marinos liberan grandes cantidades de huevos, esporas o larvas que se desarrollan durante un tiempo formando parte del plancton. Esto crea las bases para un mecanismo de dispersión muy importante. Por solo citar un ejemplo típico del Caribe, la larva filosoma de la langosta espinosa común *Panulirus argus*, vive de 6 a 8 meses como parte del plancton, antes de asentarse en áreas someras de la plataforma. Esto hace que, al menos en teoría, una larva nacida en las aguas de Brasil pueda ser arrastrada miles de kilómetros hacia el noroeste por las corrientes predominantes y asentarse en los cayos de la Florida. Algo parecido ocurre con otras muchas especies marinas de la región.
- En principio el mar es un medio tridimensional, donde el gradiente de profundidad juega un papel muy importante y se aprecia en todas partes. En este gradiente influye no solo el cambio de temperatura, sino también la disminución de la iluminación y la disminución del efecto del oleaje. Se ha señalado por este motivo que el mar es un hábitat mucho más tridimensional que la tierra. Es importante señalar, no obstante, que este gradiente está muy comprimido a la capa más superficial (convencionalmente, hasta los 200 metros), por debajo de la cual el océano pasa a ser muy homogéneo.
- Debido a la gran capacidad calórica del agua, los cambios de temperatura en el mar son en general más lentos y las variaciones menores que en tierra. En

las regiones tropicales, estos cambios son mínimos, aunque se acentúan notablemente en las zonas más someras, precisamente donde debe ser mayor el impacto humano.

- Las corrientes marinas juegan un papel importantísimo en la dispersión de las especies (tanto en estadios larvales como en formas adultas) y en el mantenimiento de condiciones adecuadas para la vida. También están fuertemente asociadas a las estrategias vitales de muchas especies. En este sentido, las corrientes juegan un papel mucho más importante que los vientos en tierra y son además, mucho más susceptibles de ser alteradas por el hombre (principalmente las locales).
- Muchos de los ecosistemas marinos son mayores y están más interconectados entre sí que los terrestres. Las especies marinas tienden a tener ámbitos de distribución mayores que las terrestres, aunque en el mar también existen numerosas fronteras. Estas tienen la característica de que pueden variar su posición y definición en tiempo relativamente corto, contrario a lo que ocurre en tierra, donde las barreras tienden a ser fijas. Por ese motivo, muchas barreras marinas importantes pueden pasar inadvertidas al observador casual y no aparecer representadas en los muestreos discretos.
- En tierra, los organismos de más larga vida son árboles, mientras que en el mar son peces grandes, aves marinas y ballenas, los cuales ocupan los niveles tróficos más altos.

2.2 Biogeografía marina

Al describir la región del Atlántico tropical occidental, Briggs (1974), considera la existencia de tres provincias zoogeográficas: la Caribeña, la Brasileña y la Antillana. La provincia Caribeña tiene su límite norte en la península de la Florida. En la costa Atlántica, este límite se fija a la altura de Cabo Kennedy, mientras que en la costa del Golfo de México se sitúa a la altura de Cabo Romano. Por encima de estos límites se considera que comienza ya una fauna típica de regiones templadas-cálidas. La porción sur de esta provincia es la más larga y se extiende desde Cabo Rojo (al sur

de Tampico), siguiendo la costa del sur del Golfo de México, de América Central y de Sur América hasta el delta del río Orinoco en la parte oriental de la costa venezolana.

La provincia Brasileña se extiende desde el delta del Orinoco hasta las inmediaciones de Fortaleza en el nordeste de Brasil. Es un tramo de unos 3000 km, desprovisto de crecimientos coralinos con grandes trechos de fondos fangosos y salinidad reducida cerca de la boca de los grandes ríos (Orinoco, Esequibo, Amazonas, Tocantins y Parnaíba). Más hacia el este y el sur, sobre la costa brasileña, se encuentran de nuevo formaciones coralinas con muchas especies en común con el Caribe, pero persiste un alto grado de endemismo en las áreas costeras en varios grupos, por lo que el límite sur de esta provincia se fija a la altura de Cabo Frío, muy cerca de Río de Janeiro.

La provincia Antillana está formada enteramente por islas. El archipiélago de las Bermudas es un extremo norte de esta provincia pero el grueso de la misma se extiende desde el archipiélago de las Bahamas hasta Granada. Las Antillas holandesas meridionales (Aruba, Curazao, Bonaire), continúan siendo un enigma distribucional. La corriente de la Florida es considerada una importante barrera geográfica que aísla en medida suficiente esta provincia de la porción norte de la provincia Caribeña (Florida). De igual manera, se considera que las fuertes corrientes en el estrecho de Yucatán y el paso entre Granada y Trinidad constituyen también importantes barreras geográficas.

La región que estamos considerando en esta obra como "Caribe ampliado" estaría formada entonces por las provincias Caribeña y Antillana (Figura 2.2). Mahon y Younglao (1991) realizaron un análisis de la similitud de varios grupos de la fauna marina entre áreas de la región de COPACO (Comisión de Pesca para el Atlántico Centro-Occidental). Esta región coincide en gran medida con lo que se ha llamado el Gran Caribe, por lo que esta investigación puede tener valor para un análisis zoogeográfico. Estos autores se basaron en la información de las fichas de identificación de la FAO para esta región (Fischer, 1978), por lo que con mucha razón califican este análisis como preliminar, aunque está basado en la mejor información disponible. Incluyeron en el estudio 511 especies, analizando por separado los peces demersales (317), los peces pelágicos (134), los crustáceos (42) y los moluscos (18). El resultado principal fue la identificación de tres grandes áreas naturales para el manejo pesquero: una formada por la Florida y el Golfo de México (incluyendo la zona de Carolina

del Norte -que los autores no mencionan- hasta el límite norte de COPACO: 35° N, a la altura de Cabo Hatteras); la segunda que abarca toda la costa de América Central y del Sur, incluyendo a Trinidad-Tobago hasta el límite sur de COPACO (5° N: a la altura de Cayena, Guayana Francesa); y la tercera que incluye las islas (Antillas mayores y menores, Bahamas y Bermudas).

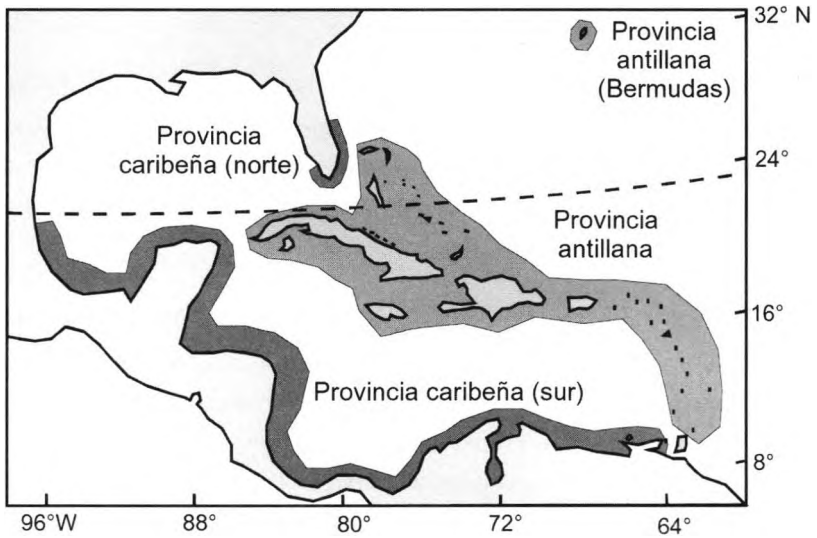


Figura 2.2 Provincias zoogeográficas en el Caribe y zonas adyacentes (según Briggs, 1974)

Los criterios de Mahon y Younglao (1991) son compartidos básicamente por Caddy (1991), quien sugiere considerar en la región cuatro provincias faunísticas: 1) Florida/Golfo de México, 2) Plataforma de América Central, 3) Plataforma de América del Sur, y 4) Las islas. En esta obra el análisis se concentra en las tres últimas.

Suárez (1989) considera tres áreas desde el punto de vista fitogeográfico, basándose en la distribución del macrofitobentos en la región del Mediterráneo Americano (= Gran Caribe). Estas áreas son las siguientes:

- Área continental del norte (de Carolina del Norte hasta Yucatán) con una zona transicional (Carolina del Norte a Jacksonville).

- Archipiélago de las Antillas (incluyendo islas Vírgenes, Bahamas y Bermudas) con una zona transicional (Bermudas).
- Area continental del sur (de Yucatán a Brasil) con una zona transicional (islas del Caribe y la zona del Delta del Orinoco).

2.3 Especies marinas amenazadas

La mayor parte de las especies marinas y costeras de la región del gran Caribe que se consideran en peligro o vulnerables (Tabla 2.2) son vertebrados tetrápodos, principalmente mamíferos y reptiles marinos de ambientes estuarinos (Stanley, 1998). Las especies que causan más preocupación a nivel regional son el manatí antillano o del Caribe y varias especies de tortugas marinas.

El manatí del Caribe es un animal grande (3 m de longitud y 500 kg de peso como promedio) pero muy pacífico que habita en aguas cálidas y someras. A diferencia de otros mamíferos marinos (focas, delfines, marsopas y ballenas) los manatíes no se alimentan de peces u otros animales marinos, sino que subsisten casi enteramente consumiendo materia vegetal. Habitan en las zonas de canales, bocas de río y áreas costeras adyacentes, por lo que son especialmente vulnerables al impacto humano. Son cazados con fines comerciales y de subsistencia, tienen una baja tasa de reproducción, son heridos o muertos con frecuencia de forma accidental y su hábitat natural es uno de los que sufren mayor degradación por la acción del hombre. Por todas estas razones, esta especie se considera en grave peligro de extinción (Marmontel, 1996). Existe un plan regional en el Gran Caribe para la protección del Manatí auspiciado por el programa ambiental del Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA-PAC, 1995).

El grupo de las tortugas marinas remonta su origen a 200 millones de años atrás. Fueron comunes en la época de los dinosaurios, con los cuales convivieron. Las especies actuales son más recientes y su origen se sitúa entre 60 y 10 millones de años atrás (Eoceno temprano al Pleistoceno). Junto a las serpientes e iguanas marinas, son los únicos reptiles adaptados al agua de mar que aún existen (Márquez, 1990).

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	CATEGORÍA
<i>Trichechus inunguis</i>	Manatí del Amazonas	V
<i>Trichechus manatus</i>	Manatí del Caribe	V
<i>Pterodroma hasitata</i>	Diablotin, Black-capped petrel	V
<i>Caretta caretta</i>	Caguama	V
<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga verde	P
<i>Dermochelys coriacea</i>	Tinglado, Tortuga laúd	P*
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Carey	P
<i>Lepidochelys kempii</i>	Tortuga lora	P
<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortuga golfina	P
<i>Dermatemys mawii</i>	Tortuga de río centroamericana	V
<i>Caiman crocodilus crocodilus</i>	Caimán	V
<i>Caiman crocodilus fuscus</i>	Caimán pardo	V
<i>Crocodylus acutus</i>	Cocodrilo americano	V
<i>Ameiva polops</i>	Lagarto de suelo de St. Croix	P
<i>Familia Anthipathidae</i>	Corales negros	AC
<i>Strombus gigas</i>	Cobo, Concha reina	AC
<i>Panulirus argus</i>	Langosta del Caribe	AC

* según Márquez (1990)

Tabla 2.2 Especies marinas y costeras amenazadas de la región del Gran Caribe. V = Vulnerables, P = En peligro, AC = Amenazadas comercialmente (según Stanley, 1998)

Las tortugas marinas son muy apreciadas comercialmente por su carne y sus huevos, que tienen una alta demanda. Las escamas córneas que forman el carapacho del Carey tienen un precio alto en la industria de la artesanía fina. Esto ha hecho que la presión de pesca sobre estos organismos sea muy grande, con la consiguiente merma en sus poblaciones naturales. Existen además otras amenazas importantes, como son la destrucción de los hábitats, la invasión por el hombre de las playas de anidamiento, la captura incidental en redes de diverso tipo, etc.

Por todo lo anterior, todas las especies de tortuga están sometidas actualmente a severas medidas de protección y se encuentran ubicadas en el apéndice I de la Convención sobre comercio internacional de especies de la flora y la fauna silvestres en peligro (CITES), lo cual prohíbe totalmente su comercialización.

En un informe reciente (UNEP, 2000) se llama la atención con respecto a los mamíferos marinos en la región. En ese informe se afirma que al menos 30 especies de cetáceos habitan en la región del Gran Caribe, ya sea todo el tiempo o con carácter estacional. De estas especies, 6 pertenecen al orden Mysticeti (ballenas verdaderas) y todas están consideradas en peligro (incluidas en el apéndice I de CITES). El resto son del orden Odontoceti y de ellas el cachalote (*Physeter macrocephalus*) y el delfín de agua dulce de Sudamérica o Tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) se consideran también en peligro, mientras que el resto son especies de delfines que en general no caen en categorías extremas con respecto a la conservación, pero cuya explotación debe estar regulada de forma estricta (apéndice II de CITES). El informe también menciona al manatí antillano, que ya se trató anteriormente y a la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*) especie que se considera extinguida.

2.4 Ecosistemas principales

La zona costera incluye una porción de la tierra emergida que tiene alguna interacción con el mar y la zona marina que se extiende sobre la plataforma submarina. En el ámbito marino, existen varios ecosistemas que se disponen en cierto orden dependiendo de la profundidad y las características geomorfológicas y oceanográficas predominantes (Figura 2.3).

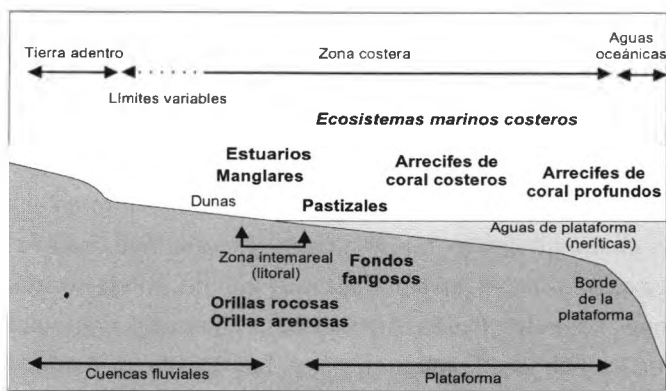


Figura 2.3 Zona costera y ecosistemas marinos costeros del Caribe

El ecosistema más característico de la región del Caribe es el arrecife de coral. En estrecha asociación con el mismo se encuentran los ecosistemas acuáticos asociados a los manglares y a los fondos arenosos o areno-fangosos donde crecen fanerógamas submarinas (pastizales marinos). En los trabajos más recientes se reconoce la existencia de una fuerte interacción entre estos tres ecosistemas y el complejo manglar-pastizal-arrecife se da como el elemento clave para el análisis ecológico de la región caribeña (Ogden, 1987; Figura 2.4). La inmensa mayoría de las plataformas insulares de la provincia Antillana se caracterizan por presentar un predominio absoluto de este grupo de ecosistemas. La plataforma continental del mar Caribe de México y de Belice albergan una barrera coralina considerada como la segunda en extensión en el mundo (después de la Gran Barrera australiana). A lo largo de toda la costa de América Central hay zonas con predominio de corales, aunque no se forma un sistema continuo. Con menos frecuencia, los arrecifes se observan también en la costa de América del Sur.

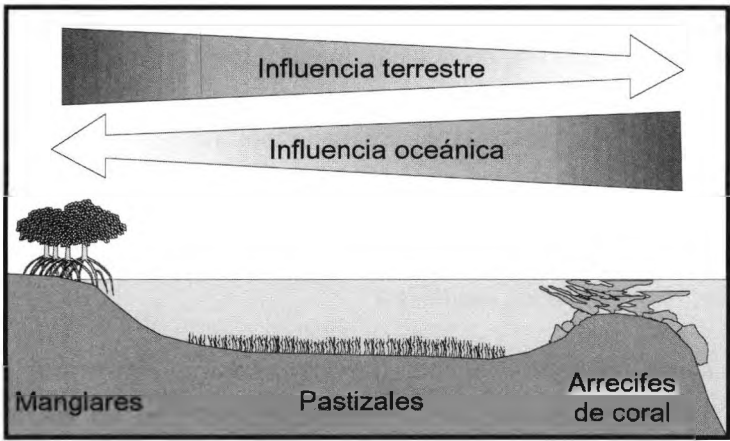


Figura 2.4 Organización espacial típica de los tres ecosistemas marinos principales del Caribe (modificado de Ogden, 1987)

Existen zonas del Caribe (*sensu lato*) donde no hay un desarrollo grande de los arrecifes de coral. En estas áreas se encuentran también bosques de mangle muy desarrollados, pero con una fuerte influencia de agua dulce, por lo que son sistemas estuarinos típicos. Este tipo de manglar tiene asociado un ecosistema acuático algo diferente del que se asocia a los manglares vinculados con las áreas de arrecifes.

En algunos sitios bien delimitados, la existencia de surgencias o afloramientos costeros produce un enriquecimiento de las aguas que permite el desarrollo de un ecosistema muy peculiar y bien diferenciado de los otros. Este tipo de ecosistema existe en las zonas continentales de la región, principalmente en el extremo nor-oriental de Colombia y de Venezuela, en el banco de Campeche y al oeste de la Florida (Carranza y Rodríguez de la Cruz, 1991; Cervigón *et al.*, 1992).

El océano abierto constituye un ecosistema claramente diferente de todos los mencionados hasta ahora. Toda la cuenca del mar Caribe propiamente dicho, por fuera del borde de la plataforma, así como las porciones correspondientes del Golfo de México y el océano Atlántico presentan este tipo de ecosistema. Este tiene una porción muy amplia que se ubica principalmente en la zona epipelágica (primeros 200 metros de la columna de agua), pero también posee una franja estrecha de fondo rocoso de profundidad (entre 150 y 300 metros). Este fondo ya no pertenece propiamente a la plataforma submarina y es mejor tratarlo como la porción bentónica del sistema oceánico.

Hay además un grupo de ecosistemas marinos que no se pueden incluir en ninguno de los anteriores tipos. Se pueden mencionar entre otros, las playas de arena, las zonas litorales (inter-mareales) rocosas, los planos abisales y las fosas oceánicas. Estos ecosistemas, que presentan peculiaridades indiscutibles y algunos aspectos muy interesantes de estructura y funcionamiento no tienen una gran importancia económica (en cuanto a los recursos vivos) y en algunos casos son de muy difícil acceso, por lo que en general han sido poco estudiados .

En la actualidad se considera que los ecosistemas costeros claves en el Caribe son tres: el manglar, el pastizal marino y el arrecife de coral. Esto es así por la extensión regional e importancia económica de estos tres sistemas que están fuertemente relacionados entre sí. Prácticamente todos los documentos conceptuales y de política estratégica en relación con el desarrollo sostenible de la zona costera en la región del Gran Caribe hacen énfasis en estos tres sistemas como componentes claves. Por otro lado, es preciso reconocer que en varias zonas de la región existen extensiones notables de áreas estuarinas que tienen asociados fondos blandos de plataforma (importantes áreas de pesca de camarones peneidos). Tomando en cuenta lo anterior y atendiendo a las limitaciones de espacio, se concentra el análisis en estos ecosiste-

mas (manglares, sistemas estuarinos y fondos blandos de plataforma, pastizales y arrecifes de coral).

2.5 Manglar

El manglar (o bosque de mangle) es un tipo de formación vegetal que predomina en las zonas intermareales de las costas formadas por sedimentos salinos, frecuentemente anaeróbicos y algunas veces ácidos de las regiones tropicales. El manglar está integrado por varias especies de angiospermas que presentan en común la capacidad (variable con la especie) de colonizar terrenos anegados total o parcialmente por agua de mar o salobre. Estas especies poseen adaptaciones singulares, como raíces de apoyo, neumatóforos, lenticelas (orificios de ventilación) y propágulos vivíparos, que permiten su existencia en un ambiente relativamente adverso (sedimentos poco consolidados y con baja concentración de oxígeno disuelto en el agua intersticial). La capacidad de vivir en suelos salinos exige un costo metabólico, pero sirve para eliminar la competencia presentada por las especies no halófitas. El manglar en sí es una formación vegetal terrestre que crece parcialmente en la zona intermareal, por lo que tiene una gran influencia en los ambientes acuáticos adyacentes. Este bosque exporta gran cantidad de materia orgánica al ambiente acuático y juega un papel clave en la consolidación de los sedimentos (Snedaker y Getter, 1985). En el Caribe existen cuatro especies de mangle (Tabla 2.3).

ESPECIE	FAMILIA	NOMBRE VULGAR
<i>Rhizophora mangle</i>	Rhizophoraceae	Mangle colorado
<i>Avicennia germinans</i>	Avicenniaceae	Mangle prieto
<i>Laguncularia racemosa</i>	Combretaceae	Patabán (Cuba)
<i>Conocarpus erecta</i>	Combretaceae	Yana (Cuba)

Tabla 2.3 Especies principales que integran los manglares en el Caribe

Según análisis recientes (Suman, 1994) a nivel regional (Gran Caribe) y comparando con el mundo (Hamilton y Snedaker, 1984), Cuba es uno de los países que posee una mayor área de su territorio cubierta por bosques de mangle. Se ha estima-

do en 532 400 hectáreas la superficie total de los manglares cubanos, lo que representa casi el 5 % de la superficie total del país.

El desarrollo del manglar es óptimo en los sitios que reúnen las siguientes condiciones (Walsh, 1974 citado por Cintrón y Schaeffer-Novelli, 1983):

- Temperaturas cálidas. La temperatura media del mes más frío excede a 20 °C y la amplitud anual es menor que 5 °C.
- Sustratos aluviales. Corresponden a las zonas deltaicas con lodos finos ricos en materia orgánica. Especialmente adecuados, son los sedimentos que derivan de rocas volcánicas.
- Resguardo del oleaje y de las marejadas fuertes. Un nivel alto de energía produce mucha erosión e impide el asentamiento de las semillas.
- Presencia de agua salada. Los manglares están integrados por especies que son halófitas facultativas y ocupan los terrenos salinizados que otras plantas no pueden colonizar. El mejor desarrollo ocurre en sitios donde las salinidades están entre 5 y 30 partes por mil.
- Gran amplitud de marea. Esta permite una intrusión de sal a grandes distancias tierra adentro, sobre todo si el declive del terreno es reducido, como ocurre normalmente en las costas bajas.
- Cierta cantidad de agua dulce. En los ambientes áridos, donde la salinidad está por encima de las 30 partes por mil, el desarrollo es sub-óptimo. De hecho, en zonas muy salinas, donde se llegan a registrar valores de hasta 90 partes por mil, los manglares crecen como arbustos pequeños.

Es importante conocer los tipos bosques de mangle, ya que estos se relacionan notablemente con la productividad de esta formación vegetal y por tanto, con el aporte que estos bosques pueden hacer al sistema acuático. En un esquema simplificado se pueden considerar tres tipos básicos: ribereños, de borde-islotas y de cuenca (Lugo y Snedaker, 1974; Figura 2.5).

Bosques ribereños (Figura 2.5 A)

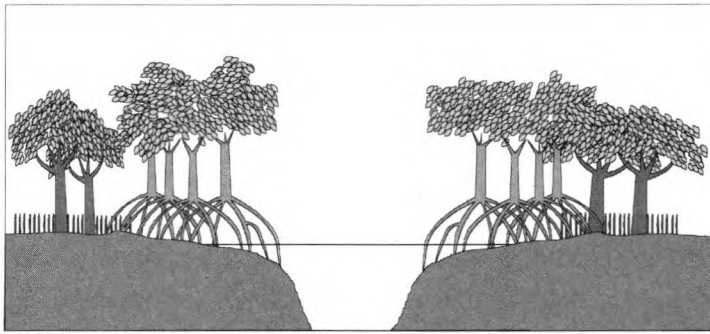
Se desarrollan a lo largo de las márgenes de los ríos, frecuentemente en la zona hasta la cual llega la máxima intrusión salina. La especie dominante cerca del agua es el mangle rojo (*R. mangle*), cuyas raíces en forma de zanco y su fruto más pesado y con forma hidrodinámica le dan ventajas adaptativas evidentes. A continuación del mangle rojo y hacia el interior se encuentran rodales mixtos de mangle negro (*A. germinans*) y de mangle blanco o patabán (*L. racemosa*). Ubicados en ambientes de alta energía cinética, estos bosques son muy productivos y los árboles pueden llegar a tener alturas de hasta 50 metros, aunque en la cuenca del Caribe, debido a que no existen ríos muy grandes en general y las mareas son de muy poca amplitud, su altura es típicamente mucho menor (20 metros).

Bosques de borde e islotes (Figura 2.5 B)

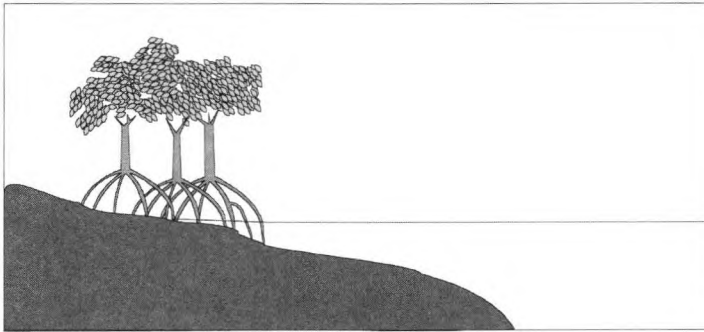
Estos se desarrollan a lo largo de las costas y sobre islotes. No existen en ellos fuertes gradientes salinos y debido al lavado intenso, son frecuentemente monoespecíficos, y están formados exclusivamente por mangle rojo. En las partes más internas y estancadas, el mangle negro y el patabán pueden sustituir al mangle rojo. En ellos el aporte de agua dulce es mucho menor y se observan salinidades del agua intersticial que van desde 39 ‰ en la zona más exterior hasta 59 ‰ en la más interior. En general los islotes presentan alturas menores de sus árboles (7 m) con respecto a los bosques de borde (10 m). Esta es una formación muy típica en los cayos e isletas que rodean a las islas mayores de las Antillas, principalmente Cuba.

Bosque de cuenca (Figura 2.5 C)

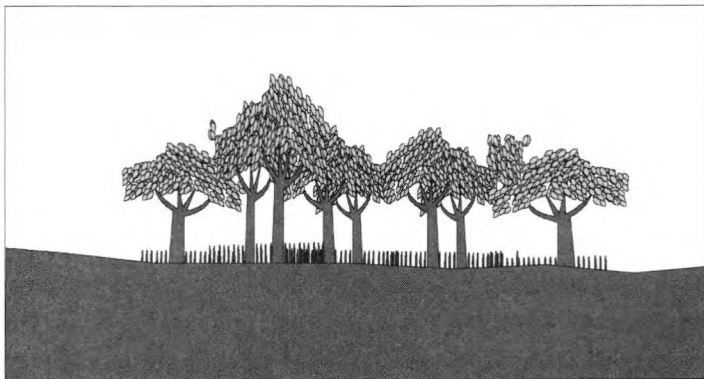
Se establecen en las partes más interiores, por detrás de los de ribera y de borde. Se desarrollan en zonas donde la renovación del agua es mucho más lenta y que adquieren características anaeróbicas. Aquí predomina en mayor medida el mangle prieto (zonas con mayor salinidad), provisto de neumatóforos que le permiten tomar el oxígeno del aire atmosférico y en menor medida el patabán (zonas con mayor aporte de agua dulce), también con neumatóforos, pero menos desarrollados. En los canales de drenaje de las cuencas, se puede establecer el mangle rojo.



A



B



C

Figura 2.5 Tipos ecológicos principales de manglar: A. Ribereño, B. De Borde, C. De Cuenca

2.6 Sistemas estuarinos y fondos fangosos de plataforma

En la definición más aceptada actualmente, los sistemas estuarinos son cuerpos de agua en la zona costera donde existe una comunicación restringida con el mar abierto y que se comunican con el mismo al menos periódicamente. Esto permite incluir en esta definición a las lagunas costeras hipersalinas, donde no hay una influencia notable del escurrimiento de agua dulce. Lo común, sin embargo, es que los sistemas estuarinos se caractericen por la mezcla de agua dulce con el agua salada, tal como ocurre en la mayor parte de las bahías, desembocaduras de ríos y lagunas costeras. Entre las características más notorias de estos ecosistemas se encuentran las siguientes:

- Están fuertemente controlados por las variables físicas. El escurrimiento de agua dulce y las mareas son los componentes abióticos más importantes.
- Grandes cantidades de nutrientes vienen desde afuera de los límites del ecosistema.
- Estos ecosistemas exportan gran cantidad de materia orgánica al ecosistema marino de la plataforma adyacente.
- Los organismos característicos de estos ecosistemas viven cerca de sus límites de tolerancia en un ambiente altamente fluctuante.

Las principales áreas típicamente estuarinas del Caribe son el sistema de Maracaibo, la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Golfo de Urabá, aunque existen otras zonas más pequeñas como la secuencia de lagunas costeras en la región centro-oriental de Venezuela (Tacarigua, Unare, Píritu) y la Ciénaga de Tesca en Colombia (Cervigón *et al.*, 1992). En las islas, en general, no se desarrollan grandes zonas estuarinas, aunque Cuba, por ser una isla grande, presenta un sistema estuarino bastante desarrollado en la costa sur-oriental (desde Casilda hasta Cabo Cruz), donde una extensa franja de manglar de cientos de kilómetros de largo ocupa el litoral formado por sedimentos blandos fangosos y fango-arenosos.

En algunos sitios la plataforma submarina es amplia y presenta características morfológicas que facilitan la existencia de fondos fangosos relativamente profundos. En estos fondos se organiza un ecosistema que tiene una fuerte relación con los eco-

sistemas estuarinos de manglar que existen a lo largo de la costa en estas zonas. Este es el hábitat óptimo para los camarones peneidos, los cuales desarrollan su vida adulta en el mismo. Estos camarones tienen sus áreas de crianza principales en las zonas lagunares y muy cercanas a la orilla de los manglares. Estas áreas se encuentran en el Golfo de Paria (Venezuela) y adyacentes a las regiones estuarinas mencionadas anteriormente, incluyendo la región sur-oriental de Cuba. En algunos casos (p.e. Cuba), esta zona de fondos blandos va seguida de un área cercana al borde de la plataforma donde vuelve a aparecer el complejo manglar-pastizal-arrecife.

2.7 Pastizales marinos

Extensas regiones de la zona somera de la plataforma en las cuales se acumula sedimento arenoso y fangoso-arenoso están cubiertas por praderas submarinas formadas principalmente por fanerógamas marinas. Estas zonas normalmente están asociadas a los sistemas estuarinos o a los arrecifes de coral y algunos autores las tratan como un subsistema dentro de esos ecosistemas. Aquí las ubicamos en un acápite separado para facilitar la exposición.

Estos pastizales marinos tienen varias características importantes:

- Son las zonas de alimentación principales para muchas especies que se refugian en los manglares y en los arrecifes de coral (entre estas especies están varias de gran importancia comercial como son la langosta y los pargos).
- Tienen una producción primaria muy alta, la cual es utilizada principalmente por la vía del detrito.
- Producen, retienen y estabilizan los sedimentos.
- Proveen alimento y refugio para los organismos juveniles de una gran cantidad de especies (camarones, langosta, peces de muchas especies, etc.).

Las especies principales que aparecen en el Caribe son *Thalassia testudinum*, conocida en Cuba como seiba (o ceiba) y en otros sitios como hierba de tortuga. Esta es la especie predominante y en algunas zonas pueden formar rodales muy densos y

extensos que en Cuba se denominan seibadales. *Syringodium filiforme* es otra especie muy común que aparece entremezclada con la primera. Se le conoce como hierba de Manatí. La otra especie común es *Halodule wrightii*. Esta ocupa generalmente zonas más someras y cercanas a la orilla. Las áreas cubiertas por esta planta están consideradas como uno de los biotopos principales para el desarrollo de los juveniles tempranos de los camarones comerciales.

Todas las plantas que forman los pastizales marinos son angiospermas capaces de polinizar bajo el agua. Su medio principal de propagación, sin embargo, es por rizomas que crecen lateralmente a través de los sedimentos y dan nuevas plantas con sus propios sistemas de raíces. Tanto las raíces adventicias como las hojas surgen de nodos, que son unos engrosamientos en los rizomas. Este sistema de crecimiento vegetativo crea una red dentro del sedimento que es esencial para la consolidación del mismo.

Los pastizales no están formados solamente por las fanerógamas mencionadas anteriormente y en ellos frecuentemente se aprecian grandes cantidades de macroalgas. Otro componente muy importante es la comunidad de algas de pequeño tamaño que se asienta sobre las hojas de las fanerógamas y de las macroalgas. Estas algas se denominan epífitas. En general se considera que las epífitas pueden representar entre el 10 y el 50 % de toda la producción del pastizal.

De la gran producción vegetal de las fanerógamas y macroalgas de los pastizales solo una proporción relativamente baja es consumida por vía herbívora. Alrededor de un 10 a un 15 % del material foliar es consumido por algunos peces fitófagos (peces loros, de la familia Scaridae y peces barberos –llamados cirujanos en otros países-, de la familia Acanthuridae), erizos de mar (*Lytechinus variegatus* y *Tripneustes ventricosus*) o por las tortugas marinas y los manatíes, cuando aún se encuentra formando parte de las plantas. El resto de las hojas de las fanerógamas normalmente mueren, se descomponen y son consumidas como detrito. Otra vía de formación de detrito es que el extremo de las hojas está muriendo de forma constante y el material se incorpora al agua como materia orgánica disuelta. Es preciso tener en cuenta que las algas epífitas ofrecen un material mucho más accesible (se digiere mejor) a los herbívoros que las fanerógamas o macroalgas que le sirven de soporte. Por este motivo, se ha sugerido que el aporte de las epífitas por una vía herbívora podría ser incluso mayor que el aporte que se hace por la vía del detrito.

En los pastizales se establece una comunidad animal característica que incluye invertebrados y peces. Estos organismos se acomodan en grupos o gremios alimentarios que permiten hacer un uso muy eficiente de la alta productividad del pastizal y crean grandes cantidades de biomasa con una tasa de renovación muy alta, lo que hace que esta comunidad sirva como base alimentaria esencial en la plataforma para una multitud de otros organismos visitantes.

2.8 Arrecifes de coral

En un sentido estricto, los arrecifes de coral son formaciones calcáreas rocosas de origen biológico que se desarrollan en las aguas someras tropicales. En un sentido más amplio, los arrecifes de coral se pueden considerar ecosistemas en los cuales una parte de la comunidad constituye además el sustrato. Este sustrato vivo o biosustrato constituye una característica única del arrecife de coral que a su vez está fuertemente modulada por otros componentes de la flora y la fauna en este ecosistema.

Se pueden resumir algunas características esenciales de los arrecifes de coral como sigue:

- Un grupo de especies secretoras de carbonato de calcio construyen un sustrato rocoso.
- Hay una alta tasa de producción primaria bruta basada en reciclado muy eficiente de los nutrientes.
- Diversidad biológica y bioquímica muy altas.
- Es un ecosistema muy sensible a las perturbaciones antropogénicas.

Se reconocen tres tipos básicos de arrecife:

- El primer tipo son los arrecifes costeros o en franja (“fringing reefs”), que se desarrollan a lo largo de las costas someras de islas y continentes desde la zona inmediata a la orilla. Este es el tipo más abundante.

- El segundo tipo está constituido por los arrecifes de barrera, los cuales forman estructuras alargadas que corren paralelas a las costas y están separadas de las mismas por una laguna. Los más destacados son la Gran Barrera coralina del nordeste de Australia (1500 km de largo) y la barrera que se encuentra situada en su mayor parte frente a la costa de Belice, en el Caribe occidental. Este último es el único arrecife de barrera verdadero de nuestra región.
- El tercer tipo consiste en los arrecifes de atolones, formaciones anulares mas o menos irregulares que se desarrollan en el medio del océano. Estos son típicos del océano Pacífico, aunque en la región del Gran Caribe se reconocen algunos, siendo el más definido el que forma las islas Bermudas.

Charles Darwin formuló una teoría, en el siglo pasado, que vinculaba orgánicamente estos tres tipos de arrecife como etapas progresivas en el hundimiento (“subsidence”) de un cono volcánico alrededor del cual se desarrollaba un arrecife (la secuencia es: costero evolucionando a barrera y ésta evolucionando a atolón, Figura 2.6). Esta teoría fue verificada un siglo después, en 1953, cuando se obtuvieron muestras de más de mil metros de profundidad en el atolón Eniwetok, en las islas Marshall, que revelaron que bajo la gruesa capa de roca caliza producida por el arrecife, se encontraban rocas volcánicas (Boaden y Seed, 1985). Sin embargo, es importante puntualizar que no todos los arrecifes costeros o de barrera evolucionan gradualmente hacia atolones, lo cual es especialmente evidente en aquellos casos asociados a continentes o islas grandes. De hecho, la mayoría de los arrecifes costeros, a diferencia de los atolones tienen probablemente historias y orígenes muy diversos. Los atolones son muy antiguos (hasta 60 millones de años), mientras que muchos arrecifes costeros (y en particular los del Gran Caribe) son muy recientes y existen sólo desde el final de la última era Glacial, hace unos 15000 años.

Un cuarto tipo son los denominados arrecifes de parche “patch reefs”. En Cuba se les conoce mejor como “cabezos” y abundan mucho en la plataforma, vinculados a las grandes extensiones de seibadal.

En Cuba (y en gran parte del Caribe) no hay arrecifes de atolón ni de barrera propiamente dichos. Todos nuestros arrecifes son costeros o de parche. La estructura específica del arrecife en nuestro país varía de una región a otra, pero es muy abundante el tipo clásico, en el cual se distinguen tres partes esenciales: el arrecife delantero más cercano al mar, la cresta o meseta arrecifal y el arrecife trasero, en dirección

a la orilla. La cresta de los arrecifes cubanos (y del Caribe) es llamada por muchos "barrera", pues su estructura semeja una barrera donde rompen las olas cuando el

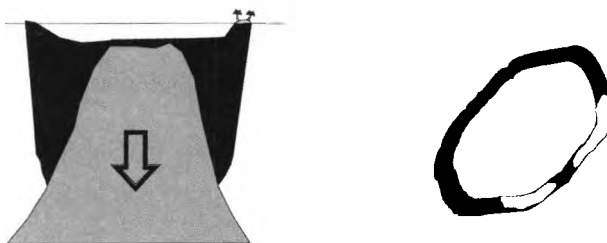
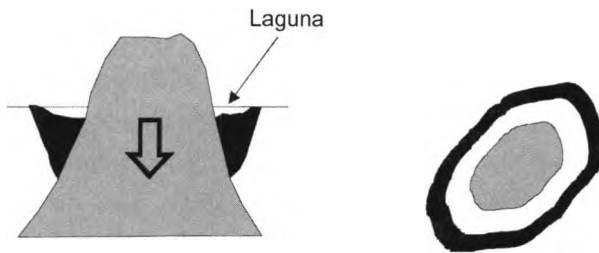
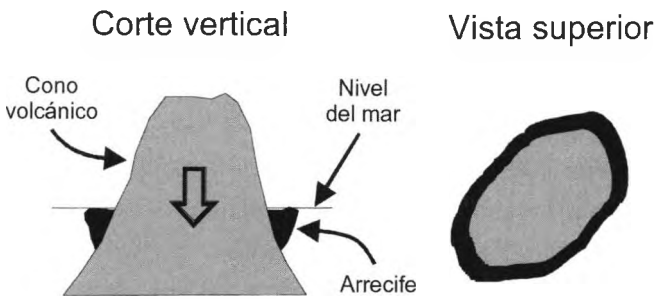


Figura 2.6 Formación de los diferentes tipos básicos de arrecife según la teoría del hundimiento de Darwin

mar está un poco agitado. Esto ha dado origen a la idea falsa de que en Cuba existen barreras coralinas verdaderas. Entre el arrecife trasero y la orilla (muchas veces cubierta de manglar, pero en ocasiones con playas de arena) se encuentra la laguna arrecifal. En muchos sitios, debido a la morfología del fondo, esta cresta no existe o es apenas perceptible, de manera que el arrecife está formado básicamente por la parte frontal.

Las condiciones para el desarrollo óptimo de los arrecifes se pueden resumir como sigue (Tomascik, 1993; Sorokin, 1995):

- Temperaturas medias por encima de los 18°C. Los arrecifes de coral sólo se desarrollan en aguas cálidas. Los corales pueden existir principalmente entre las isoterma de 20 °C, cerca de los trópicos de Cáncer y Capricornio, pero obtienen su desarrollo máximo en los sitios con temperaturas entre 23 y 25 °C y prácticamente no existen donde la temperatura está por debajo de los 18 grados, aunque temperaturas mayores (hasta 40 grados) pueden ser toleradas.
- Poca variación de las mareas. El desarrollo de los arrecifes de coral parece estar correlacionado con una fluctuación de mareas pequeña, normalmente de menos de 2 metros, aunque en algunos sitios donde existen arrecifes se pueden registrar variaciones notablemente mayores. En el Caribe esta fluctuación es especialmente pequeña (menos de 0.5 metros como norma). En todos los casos, se considera que, en general, las mareas inducen corrientes relativamente vigorosas que subsidian energéticamente este ecosistema. La mayoría de los sistemas arrecifales están ubicados en zonas con una acción permanente del oleaje, producido principalmente por los vientos alisios. Las olas normales tienen de 1 a 4 metros y constituyen un importante factor físico que actúa sobre la geomorfología, la distribución por zonas de los elementos estructurales y de los materiales carbonatados no consolidados, y la topografía de los biotopos. Los arrecifes de coral están sometidos a "desastres" naturales periódicos inducidos principalmente por los grandes oleajes que provocan los huracanes. Varios especialistas han planteado, sin embargo, que este puede ser un mecanismo que ayude a mantener la alta diversidad en los arrecifes, puesto que evita la dominancia de una o pocas especies.

- Salinidades alrededor de 35 partes por mil. La salinidad del agua debe estar en los límites naturales, entre 32 y 36 partes por mil, aunque pueden existir ocasionalmente sistemas arrecifales adaptados a salinidades más bajas (por ejemplo cerca de los grandes deltas) donde las salinidades pueden descender hasta 27 partes por mil o en zonas semicerradas con poca circulación donde pueden subir hasta 42 partes por mil.
- Aguas transparentes, con pocos sólidos en suspensión. Los dinoflagelados simbiotes de los corales necesitan de una intensidad mínima de luz para su desarrollo normal. Los sitios apropiados para el desarrollo de los arrecifes presentan normalmente profundidades de penetración de la luz superiores a 20 metros. Las condiciones óptimas para el crecimiento arrecifal máximo existen donde la intensidad de la luz está entre el 30 y el 40 % de la irradiancia subsuperficial. Por esta razón, los arrecifes coralinos se localizan principalmente en aguas someras, pudiendo llegar hasta profundidades promedio entre 10 y 60 metros en dependencia de la transparencia del agua marina en cada localidad. De hecho, el crecimiento coralino más vigoroso ocurre habitualmente entre los 2 y los 15 metros de profundidad. Las aguas con muchas sustancias en suspensión o con gran contenido de nutrientes y por tanto con gran producción del fitoplancton, son turbias y por tanto poco apropiadas para el desarrollo de los corales. Por otra parte, los corales mueren debido a un exceso en el depósito de detritus orgánico o fracciones arcillosas sobre ellos. Este fenómeno es característico de las áreas bajo influencia de la descarga de ríos. Por este motivo, los arrecifes no existen en zonas donde se producen las descargas de grandes ríos.

3. Procesos naturales principales que intervienen en el mantenimiento de la biodiversidad marina en el Caribe

3.1 Procesos físicos

Las variables y procesos de tipo abiótico tienen una influencia clave sobre muchos procesos biológicos, tanto por su efecto modulador sobre la producción general de un ecosistema, como por el efecto que tienen sobre los procesos fisiológicos y el comportamiento característicos de muchos organismos.

El funcionamiento de los ecosistemas se ha explicado frecuentemente en términos de flujo de energía. Los biólogos comúnmente modelan las relaciones de la trama alimentaria a partir de la energía solar capturada por los organismos autótrofos y pasada de un nivel trófico a otro por medio de las transferencias alimentarias. Los fenómenos físicos tales como las corrientes, la turbulencia y la estratificación, también son producidos por la energía solar, transmitida al agua de forma directa como calor o de forma indirecta por el viento. Estos dos flujos de energía son diferentes: los organismos no usan la energía del movimiento del agua para sus necesidades metabólicas. En otro sentido, ellos están interrelacionados. El movimiento del agua altera las capas fronterizas alrededor de los organismos, transporta nutrientes y sustancias de desecho, ayuda a las migraciones e influye en la tasa de encuentro entre los depredadores planctónicos y sus presas. La estratificación causa la retención de los organismos planctónicos en la capa superior del océano, haciendo la luz más accesible, pero limitando el acceso a los nutrientes inorgánicos. Las corrientes de afloramiento o surgencias rompen esa estratificación y enriquecen las capas superiores del océano con nutrientes. Desde un punto de vista biológico, estos son ejemplos de una energía física que fue denominada por Odum y Margalef como “energía auxiliar” (Mann y Lazier, 1991).

La respuesta de los organismos a las condiciones ambientales abióticas puede ser uno de los factores principales en la determinación de la composición de conjuntos de especies (asociaciones de especies, taxocenosis). Cada especie tiene un óptimo en algún punto del gradiente multidimensional complejo formado por el conjunto de los factores abióticos (p.e. temperatura, salinidad, tamaño de partícula en el sedimento, oxígeno disuelto, etc.). En estos casos, la composición de la comunidad viene determinada por una respuesta fisiológica común de un grupo de especies al ambiente abiótico. Existe bastante evidencia de que esta es la situación en ambientes marinos controlados físicamente, como son los estuarios y las zonas de fondos blandos en las plataformas submarinas de islas y continentes. En otros hábitats, donde las condiciones físicas son muy estables (p.e. arrecifes de coral), es posible suponer un efecto notable de las interacciones biológicas (p.e. depredación y competencia).

Algunos ejemplos de influencia de variables y procesos físicos y químicos en la región del Caribe (y en general en las regiones tropicales) se dan a continuación:

- a. Aunque en las regiones tropicales la temperatura no es en general un factor muy importante en la distribución de los organismos, a pequeña escala puede jugar un papel determinante. Por ejemplo, en las lagunas costeras de los manglares, donde la profundidad media puede ser de un metro o menos, la temperatura del agua en las horas tempranas de la tarde puede elevarse demasiado, haciendo que los peces se muevan en masa hacia los canales de comunicación con el mar, los cuales por ser más profundos (hasta 6 metros) conservan temperaturas aceptables. Otro ejemplo son las migraciones otoñales masivas (recalos) de la langosta (*Panulirus argus*), en las cuales los cambios de temperatura (junto a otros factores) parecen jugar un papel esencial.
- b. La respuesta a los valores y cambios de la salinidad determinan en gran medida la distribución de los organismos marinos, especialmente los costeros que se encuentran adaptados de forma diferente para mantener el balance osmótico. La fauna y flora estuarinas del Caribe dependen críticamente del mantenimiento de determinados gradientes de salinidad. En el lado opuesto, una caída notable de la salinidad puede producir la mortalidad masiva de muchos organismos en los arrecifes de coral.

- c. La vegetación intermareal está condicionada en su desarrollo por la salinidad. El manglar es una formación oportunista que crece allí donde no es posible el crecimiento de otras formas vegetales terrestres que no toleran o toleran muy poco la salinidad.
- d. En los sitios con mucha influencia del escurrimiento de agua dulce desde tierra, se crean fuertes haloclinas que juegan el papel determinante en los procesos de estratificación del agua, los cuales a su vez repercuten sobre algunos procesos importantes en el subsistema pelágico. En estas zonas, sobre todo en las regiones tropicales, la termoclina casi no tiene influencia en la regulación de los procesos de estratificación y mezcla.
- e. El oxígeno es vital para el desarrollo de la vida animal. Por otra parte, la disminución del oxígeno con la profundidad, en el agua intersticial de los sedimentos, genera un gradiente que induce una estratificación de las comunidades de microorganismos. Esta estratificación se refleja también en un gradiente del potencial de oxidación-reducción y en los procesos de consumo y regeneración de los nutrientes.
- f. Las variaciones en la concentración del dióxido de carbono y por tanto en el pH tienen una gran influencia en los procesos de disolución y precipitación del carbonato de calcio. De hecho, esta sal es menos soluble en las aguas tropicales y superficiales, donde precipita con gran facilidad y permite la existencia en condiciones óptimas de los arrecifes de coral.
- g. Los organismos son sensibles a la textura del sedimento y la misma juega un papel importante en la estructuración de las comunidades que se desarrollan en el fondo (bentónicas). El tipo de alimentación de los organismos de la infauna, por ejemplo, puede depender del tamaño de partícula. Los organismos comedores de depósito tienden a predominar en los sedimentos finos, mientras que los suspensívoros prevalecen en los sedimentos más gruesos.
- h. Un exceso de sedimento en suspensión puede ser altamente perjudicial para el desarrollo de los corales, debido a que estos tienen que emplear una gran cantidad de energía para limpiar su superficie mediante la creación de mucus. Si la turbidez es muy alta, se interrumpe el paso de la luz y se afec-

ta el metabolismo de las zooxantelas, con la consecuente afectación en la tasa de crecimiento de las colonias.

- i. Las corrientes constituyen un medio para la dispersión de los estadios larvales de muchos organismos del bentos y el necton, contribuyendo de esta forma a la conexión entre los ecosistemas y a la colonización de nuevas áreas. El mantenimiento de poblaciones locales de organismos marinos, y su mayor o menor abundancia se atribuye cada vez más a la existencia de corrientes y giros que propician la retención de las larvas y garantizan su reclutamiento estable para las poblaciones de adultos. El movimiento del agua permite la renovación del oxígeno y evita que se produzca una hipersalinización debido a la evaporación en cuencas semicerradas.
- j. Las mareas producen varios efectos de significado ecológico. Entre estos se pueden citar:
 - Las corrientes generadas por las mareas promueven turbulencia y mezcla de las capas de agua, facilitando la incorporación a las capas más superficiales de los nutrientes que han sido regenerados cerca del fondo.
 - El movimiento producido por la marea permite la renovación parcial de las masas de agua en los acuatorios, modulando procesos importantes como son la oxidación de la materia orgánica y su exportación hacia las áreas adyacentes de la plataforma.
 - El manglar, un componente clave en los ecosistemas costeros del Caribe y otras áreas tropicales, es una formación vegetal intermareal y su extensión depende, entre otros factores, de la amplitud de las mareas. Por este motivo los bosques de mangle están menos desarrollados en la costa atlántica que en la costa del Pacífico de América (donde la amplitud de la marea es mucho mayor que en el Caribe).
 - Algunos organismos están adaptados para vivir en el intermareal, compartiendo la característica común de que pasan parte del tiempo fuera del agua. Algunas algas, los escaramujos (Cirripedia), los quitones (Amphineura) y varios bivalvos, entre ellos el ostión de mangle (*Crassostrea rhizophorae*), son ejemplos típicos.

- k. El escurrimiento de agua dulce desde tierra es una fuente de subsidio esencial. Entre los efectos que este factor tiene para los ecosistemas costeros, y en particular para los sistemas estuarinos están los siguientes:
- El aporte de sustancias nutrientes (fosfatos, nitratos, silicatos) constituye un importante proceso de subsidio equivalente hasta cierto punto a los afloramientos que ocurren en el ambiente pelágico.
 - La circulación estuarina y el “shock” iónico son factores que determinan la retención de las sustancias nutritivas y partículas orgánicas pequeñas en el estuario. También facilitan la retención de sustancias nocivas.
 - Los patrones de circulación son utilizados ventajosamente por muchos organismos para mejorar el éxito del proceso reproductivo, principalmente a través de la dispersión y transporte de huevos y larvas.
- l. Un planteamiento muy interesante es que durante el paso de los huracanes y otras tormentas severas, la exportación de detrito desde los humedales a las zonas cercanas de la plataforma se puede incrementar enormemente, de forma que en unas horas se puede remover una cantidad equivalente a la que se remueve en un año bajo un régimen de vientos y oleaje normal. Este hecho es pasado por alto en muchas de las discusiones sobre el tema (Barnes y Hughes, 1988).

Con respecto al punto anterior se puede citar el criterio de Wiegert y Penas-Lado (1995) de que hay una tendencia a tratar las perturbaciones, particularmente aquellas que no son periódicas, infrecuentes y de gran amplitud, como los tornados (intensivos) y los huracanes (extensivos), como accidentes de la naturaleza que tienen poco o nada que ver con la comunidad normal “balanceada”. Según esos autores, este paradigma está cediendo el paso rápidamente a la visión de que los pulsos (periódicos o no periódicos) son factores importantes en el mantenimiento de muchos, posiblemente de la mayoría, de los ecosistemas que hemos visto durante mucho tiempo como casi totalmente autosostenidos y controlados internamente. Los huracanes han sido señalados como un factor clave en el mantenimiento de la biodiversidad de los arrecifes de coral, toda vez que su devastadora acción

ayuda a disminuir las especies dominantes cada cierto tiempo en determinadas circunstancias (Rogers, 1993).

3.2 Producción primaria

a. *Sistemas estuarinos y pastizales marinos*

A principios de los años sesenta, se planteó que, en general, la producción de las halófitas intermareales (principalmente los manglares en el caso del Caribe) no es consumida fresca, sino en forma de detrito (Figura 3.1) y que esta podría ser la vía principal para incorporar la energía solar a la trama alimentaria de los ecosistemas marinos costeros (Odum y Cruz, 1967). Esta idea se extendió luego a los pastizales marinos formados esencialmente por fanerógamas.

El criterio de que el detrito orgánico, derivado principalmente de las plantas vasculares, halófitas terrestres o fanerógamas marinas y las algas mayores, bentónicas, es la fuente principal de alimento para los consumidores estuarinos ha predominado en los últimos 30 años. El esquema conceptual más difundido incluye los siguientes aspectos claves (Odum y Heald, 1975):

- La partícula de detrito está formada por una porción de materia orgánica no viva (procedente principalmente de plantas vasculares y macroalgas) sobre la cual se desarrolla una comunidad de microorganismos entre los cuales predominan las bacterias, los hongos y las diatomeas bentónicas, pero donde hay también organismos heterótrofos como los protozoos ciliados.
- Los organismos que se alimentan de detrito utilizan la comunidad microscópica y egestan el sustrato no vivo, compactado en partículas fecales que vuelven a ser colonizadas, una y otra vez, por una comunidad de microorganismos.
- Existe un grupo clave de peces e invertebrados pequeños que son los que realmente se alimentan de detrito y sirven como eslabón fundamental entre este y el resto de los heterótrofos en los sistemas estuarinos.

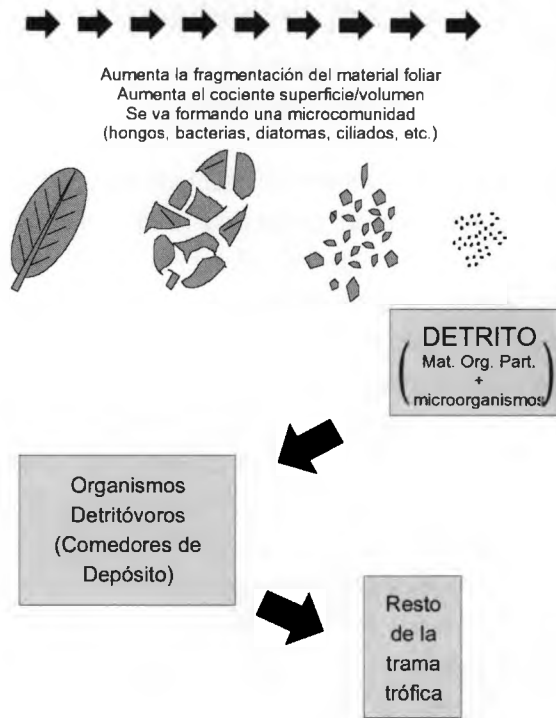


Figura 3.1. El proceso de formación de detriti y su papel en la trama alimentaria marina

El esquema anterior no se puede considerar universal. En varias lagunas costeras de Cuba, por ejemplo, se pudo comprobar que la producción del macrofitobentos, especialmente cuando predominan las algas, parece ser muy superior al aporte que hacen el manglar o el fitoplancton (González-Sansón y Aguilar, 1984). Esto ha sido atribuido a que la relación entre la superficie total de la franja litoral de manglar y la superficie de agua libre de las lagunas es mucho menor que en el caso de áreas donde predominan los canales estrechos (como es el caso de la Florida y de Georgia, en Estados Unidos).

Varios autores han planteado la posibilidad de que el fitoplancton juegue un papel mucho más importante en los sistemas estuarinos que el que se le atribuyó inicialmente (Haines, 1979; Haines y Montague, 1979; Mann, 1988). No quiere esto decir que siempre se reconozca una vía herbívora como fundamental, sino que el detrito que se forma a partir de las sustancias exudadas por el fitoplancton o por las

células muertas que integran esa comunidad podría ser asimilado más rápidamente que el formado a partir del mangle, mucho más refractario a la descomposición o que el formado a partir de las fanerógamas marinas o las algas grandes, menos refractario que el de mangle pero más que el de fitoplancton.

Una idea muy difundida y bastante bien aceptada en las últimas décadas es que los sistemas estuarinos tienden a producir un exceso anual de materia orgánica particulada que exportan al ecosistema costero adyacente, donde constituye una importante fuente de energía para los consumidores. Esta es la llamada hipótesis del “outwelling” enunciada por E. P. Odum en la década de los 70. Aunque la idea ha generado controversias bastante fuertes, hoy día la evidencia existente parece indicar que esta exportación de materia orgánica particulada es grande. Otros autores también han reconocido que la importancia del flujo total de detrito desde los manglares al ambiente acuático estuarino depende del tamaño relativo de ambos subsistemas y se ha sugerido que el cociente del área de humedal a la superficie total de agua puede ser un indicativo de la importancia de los humedales intermareales con respecto a la productividad de los ecosistemas estuarinos acuáticos. Se plantea que los procesos involucrados en el intercambio de sustancia desde los manglares varía en los sistemas estuarinos tropicales de acuerdo a la energía hidrológica (mareas y escurrimiento) y la geomorfología (Twilley, 1988; 1998).

Es importante comentar que una exportación grande de materia orgánica particulada desde los sistemas estuarinos no significa necesariamente que esta sea una fuente fundamental de energía en el ecosistema de plataforma adyacente. Se ha podido acopiar evidencia sobre la existencia de correlación entre la superficie total de los manglares y las capturas de camarones en la plataforma adyacente (Hatcher *et al.*, 1989), pero se ha señalado, que esto no parece deberse a un vínculo trófico a través del detrito “exportado” desde los manglares, sino a que estos últimos son áreas de crianza ideales para los camarones. Otra alternativa es que la correlación se deba más a factores relacionados con el flujo de agua dulce.

b. Arrecifes de coral

La producción de materia orgánica en los arrecifes es efectuada por una gran variedad de productores primarios, entre los cuales se destacan las algas de diverso

tipo, las cianobacterias, las fanerógamas que crecen en los sitios con sedimentos y los dinoflagelados simbioses. Estos últimos son una característica muy especial de los arrecifes.

Un grupo de organismos heterótrofos de los arrecifes, entre los cuales se destacan los corales escleractíneos, contienen grandes cantidades de dinoflagelados simbioses conocidos como zooxantelas (*Symbiodinium microadriaticum*) en la gastrodermis, los cuales juegan un papel decisivo para el desarrollo normal de los pólipos y constituyen una de las fuentes principales de producción primaria. Las zooxantelas simbioses tienen una participación importante en la producción primaria, pero algunos autores coinciden en señalar que la mayor significación de esta simbiosis podría ser el mejoramiento de las tasas de calcificación, lo que resulta esencial para el crecimiento de los corales.

Debe tenerse presente que una parte de la biomasa vegetal del sistema arrecifal en su conjunto está dentro de la biomasa de los corales escleractíneos, los que mantienen "prisionera" a una fracción significativa de los productores primarios (Lewis, 1981). Esta es una estrategia adaptativa muy efectiva para retener los nutrientes en un ambiente oligotrófico. Las zooxantelas producen sustancias orgánicas que son utilizadas por los pólipos para alimentarse, mientras que los pólipos excretan dióxido de carbono y sustancias nitrogenadas que sirven a las zooxantelas para sintetizar nueva materia orgánica. Debe observarse que de esta manera gran parte de las sustancias reciclan de forma muy efectiva y rápida dentro de los propios corales. Los pólipos, además, ingieren alimento de forma heterótrofa, capturando presas con sus tentáculos. Por este motivo, los corales son a la vez productores primarios y consumidores primarios y secundarios. Algo poco común en la naturaleza.

Un fenómeno que en los últimos años ha levantado grandes expectativas en torno a los ecosistemas coralinos es el llamado "blanqueamiento de los corales". Este ocurre cuando por algún motivo, los corales expulsan las zooxantelas, que son las responsables de la coloración de los mismos, por lo que las colonias adoptan un color blanco. También puede ocurrir que disminuya el contenido de las zooxantelas, sin que estas sean expulsadas del coral. Las causas de fenómenos de blanqueamiento a nivel local han sido atribuidas a cambios en la temperatura, la salinidad, la tasa de sedimentación, la intensidad lumínica, etc. Sin embargo, el intento de relacionar

fenómenos de blanqueamiento a nivel regional con alteraciones globales del clima no ha tenido éxito, y la evidencia resulta muy circunstancial.

3.3 Herbivorismo

El herbivorismo es un proceso esencial en los arrecifes de coral. Los erizos negros (*Diadema*) y los peces de las familias Acanthuridae (barberos) y Scaridae (loros) forman grandes poblaciones que consumen las algas que crecen sobre el arrecife. También otras especies consumen algas de manera importante, destacándose algunas de la familia Pomacentridae (chopitas). Si no existiera este control “de arriba hacia abajo”, las algas podrían ganar la competencia por el espacio e impedir el desarrollo de los corales. Precisamente un síntoma claro de degradación en un arrecife es la presencia de extensas zonas de coral muerto cubiertas de algas, principalmente filamentosas. El herbivorismo es otra vía muy efectiva de reciclado de los nutrientes. Los organismos que consumen algas y cianobacterias producen gran cantidad de excremento sobre el propio arrecife, haciendo disponible de nuevo una buena parte de los nutrientes.

3.4 Reciclado de los nutrientes

La alta tasa de reciclado de los nutrientes se considera como el mecanismo principal que explica la paradoja de que los arrecifes puedan tener una tasa de producción primaria tan alta, cerca de un océano tan poco productivo. Esta eficiencia en el uso de los pocos nutrientes, que permite una alta producción, podría llevar a la falsa idea de que los ecosistemas arrecifales pueden explotarse más de lo que en realidad se debe. De hecho, los arrecifes no resisten altas tasas de explotación, siendo muy vulnerables frente a la actividad pesquera.

Los arrecifes del Caribe se caracterizan por desarrollarse, en su mayoría, cerca de las masas continentales o de islas grandes (como ocurre también en la porción occidental del Océano Pacífico, cerca del sudeste asiático). Esto permite una entrada de nutrientes por arrastre desde tierra que no es posible en arrecifes más aislados, como son los atolones e islas muy pequeñas de una gran parte del Océano Pacífico (en Oceanía). Esta diferencia ha sido señalada como muy importante a la hora de evaluar

planes de manejo de los arrecifes en ambas zonas. En un sistema donde ocurre un aporte periódico de nutrientes desde fuera del mismo, se pueden concebir tasas de extracción de biomasa (por pesca, por ejemplo) mayores que en un sistema donde el mantenimiento de la producción es a base de una alta tasa de reciclado de los nutrientes con poca entrada desde afuera.

3.5 Producción de carbonato de calcio

La comunidad de un arrecife moderno produce como promedio 4-5 kg.m².año⁻¹ de carbonato de calcio. A nivel global se estima la producción anual de carbonato en 2.5 x 10⁹ t. La habilidad para extraer carbonato de calcio del agua de mar y depositarlo como calcita o aragonito en estructuras esqueléticas está presente en muchos animales y plantas del arrecife, pero los principales constructores del arrecife de coral son los corales escleractíneos. En estos, alrededor de un 98 % de su masa está formada por carbonato de calcio en forma de aragonito. De hecho, en colonias un poco grandes, el animal colonial en sí constituye sólo una fina capa exterior. El resto es piedra (Sorokin, 1995).

Simultáneamente con el proceso de producción de carbonato, ocurren procesos intensos de erosión de las estructuras creadas. Si bien la calcificación tiene origen principalmente biológico, la erosión puede ser causada por factores abióticos y por organismos, aunque estos últimos son la causa principal. De hecho, la bioerosión debilita las estructuras coralinas y permite que el oleaje tenga un efecto mayor en la fragmentación de las colonias.

La tasa de erosión anual puede ser de varios kilogramos por metro cuadrado. En Florida y Bermudas se han estimado valores entre 2.4 y 13 kg.m².año⁻¹. Esta erosión es una de las fuentes principales de formación de los sedimentos arrecifales blandos, cuyo mayor componente es, normalmente, arena de origen biogénico. Se debe precisar que una parte de esta arena no proviene propiamente de la bioerosión, sino del depósito de esqueletos y partes de varios organismos (algas calcáreas, foraminíferos, moluscos, erizos, etc.). En cualquier caso, muchas de las playas del Caribe reciben una gran parte de la arena de esta fuente. En algunos arrecifes cercanos a masas de tierra grandes, puede haber un porcentaje importante del sedimento que tiene su ori-

gen en el escurrimiento desde tierra y está formado por arcilla, arena, guijarros y óxido ferrosos.

3.6 Interacciones entre los ecosistemas costeros

Como ya se mencionó anteriormente, existe un intercambio intenso entre los ecosistemas costeros. En el caso de los manglares, pastizales marinos y arrecifes de coral, algunas de estas interacciones se pueden resumir como sigue (Figura 3.2; UNESCO, 1983):

- Los manglares juegan un papel esencial en la retención de los flujos de agua dulce y de los sedimentos, creando condiciones para que las aguas se mantengan limpias en la zona costera, facilitando así el crecimiento de los pastizales y corales. Los pastizales disminuyen la velocidad de la corriente y permiten que el sedimento precipite, ejerciendo un papel también de limpieza del agua. Por su parte, los arrecifes constituyen en muchas partes una barrera efectiva que disipa gran parte de la energía del oleaje, creando zonas de calma a sotavento y permitiendo la acumulación de sedimentos finos, los cuales ofrecen un sustrato ideal para el crecimiento de los pastizales y los manglares. Debido a los procesos de erosión, los corales son también fuente de sedimentos carbonatados que contribuyen a la estabilización de los pastizales.
- Los manglares retienen gran parte de los nutrientes que vienen con el escurrimiento, permitiendo así amortiguar los procesos de nutrificación y eutrofización que tienen origen terrestre. No obstante, hay un flujo neto de nutrientes desde la orilla hacia los pastizales, lo que incrementa la productividad de los mismos, cuando la carga no es mucha. La entrada de nutrientes inorgánicos desde aguas oceánicas es mínima, por lo que los corales generalmente no sufren eutrofización. Muchos animales que durante el día se refugian en los manglares y en los arrecifes de coral, durante la noche salen a buscar su alimento en los pastizales (langosta, muchos peces de importancia comercial). Estas son migraciones diarias. Muchos de los animales que habitan en el arrecife todo el tiempo o se refugian en el mismo,

tienen sus áreas de crianza en los manglares (entre las raíces) o en los pastizales. Estas son migraciones a lo largo del ciclo de vida.

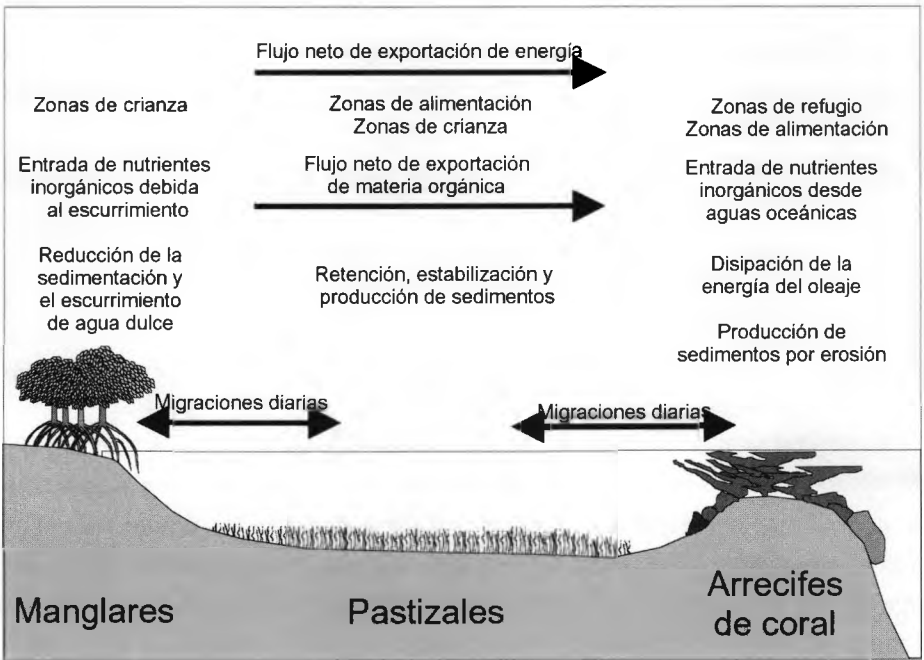


Figura 3.2 Algunas interacciones entre los ecosistemas costeros del Caribe

3.7 Servicios de los ecosistemas

Los servicios del ecosistema se pueden definir como procesos ecológicos que producen, de forma directa o indirecta bienes y servicios que benefician a los seres humanos (Limburg y Folke, 1999). Estos servicios han sido clasificados en tres grandes grupos por Norberg (1999). A continuación se presenta un breve resumen del interesante punto de vista de ese autor.

En el primer grupo Norberg (1999) sitúa aquellos servicios del ecosistema que están asociados con el crecimiento y mantenimiento de las poblaciones de ciertas especies o grupos de especies, las cuales a su vez brindan servicios o bienes al hombre. Ejemplos típicos son la producción de madera por un manglar, la captura de peces para consumo animal o fabricación de harinas, y la obtención de productos far-

maceúticos a partir de especies marinas. Sobre este último aspecto, CENBIO (1998) registra para las aguas marinas de Cuba, 16 especies de algas, 12 especies de esponjas, 22 especies de celenterados y 2 especies de moluscos de las cuales se han obtenido extractos con propiedades analgésicas, anti-inflamatorias, o con diversos tipos de acción sobre el sistema nervioso central que permiten utilizarlas como reactivos biológicos. En este grupo de servicios ecológicos se incluyen también otros casos tal vez menos evidentes, como son la existencia de cardúmenes de peces en un arrecife de coral, la presencia de tiburones en un área de buceo contemplativo o la existencia de manatíes en un área protegida, los cuales prestan un servicio importante a la industria turística. Cuatro procesos se consideran básicos en relación con este primer grupo de servicios: i) regulación de las tasas intrínsecas de crecimiento, ii) interacciones directas e indirectas con otras especies, iii) mecanismos denso-dependientes y denso-independientes de regulación de las poblaciones, y iv) limitación de recursos.

La segunda categoría de servicios del ecosistema que considera Norberg (1999) está integrada por los procesos que regulan las entradas exógenas de carácter físico o químico. El mantenimiento de estos servicios se asocia con la comunidad completa o con el ecosistema, más que con especies particulares. El ejemplo típico es el rol que juega la biota en la mayor parte de los ciclos globales de compuestos químicos como el agua, el anhídrido carbónico, el nitrógeno, etc. Otro ejemplo es el importante papel de ciertos ecosistemas como filtros o sumideros de determinados compuestos. Un ejemplo típico es el proceso de desnitrificación que ocurre en las zonas costeras, mediante el cual las cargas excesivas de nitratos que provienen del escurrimiento terrestre son aliviadas por el proceso bacteriano que culmina en la liberación de nitrógeno gaseoso a la atmósfera. Corredor y Morell (1994) realizaron observaciones en un área de manglar de Puerto Rico que recibe aguas con tratamiento secundario y plantean que sus resultados confirman el potencial de las comunidades de microbios asociadas a los sedimentos en los manglares para la depuración del exceso de nitratos en esas aguas.

El tercer grupo de servicios ecológicos según Norberg (1999) está relacionado con la organización de las entidades bióticas. Según ese autor, la organización es un aspecto clave de los procesos biológicos a todas las escalas, desde la forma en que las secuencias de genes se disponen en los cromosomas hasta las redes de flujo de energía y sustancias a nivel de ecosistemas. La organización puede ser cualquier patrón, estructura, o red interactiva en tiempo y espacio que no sean aleatorios, así

como morfologías, colores, etc. Plantea Norberg que estos servicios son tan fundamentales, que muchas veces pasan inadvertidos o se consideran obvios, aunque los mismos son la base para la resiliencia de los ecosistemas frente a las perturbaciones de origen humano. Por ese motivo se les denomina servicios de apoyo. Para garantizar el mantenimiento de ecosistemas saludables es necesario comprender cuales criterios se necesitan para que la organización biológica tenga lugar. Un ejemplo clave es que una disminución en la riqueza de especies puede ser un factor limitante en la tasa de sucesión o regeneración en un ecosistema determinado.

La economía ecológica constituye un enfoque relativamente reciente para el análisis del valor de los servicios de los ecosistemas y su inclusión en los análisis costo-beneficio como otros bienes y servicios corrientes. Particular controversia provocó un reciente artículo por Constanza *et al.* (1997), en el cual se intentó asignar un valor en dólares a 17 servicios de ecosistemas analizados sobre una base global. Aunque la controversia continúa, ha quedado en claro que la asignación de valores a estos servicios no cae sólo en el dominio de los economistas ni el dinero es la única métrica apropiada (Limburg y Folke, 1999).

Uno de los ecosistemas marinos más importantes del Caribe es el que se estructura alrededor de los arrecifes de coral. Moberg y Folke (1999) han preparado una síntesis de los bienes y servicios que brindan estos ecosistemas al hombre. De forma esquemática estos se resumen como sigue:

- a. Bienes ecológicos
 - Recursos renovables:
 - Alimento (peces, crustáceos, etc.)
 - Productos para la industria farmacéutica
 - Algas para producción de carragenina y agar
 - Joyería (coral negro y perlas)
 - Organismos para acuarios
 - Minería:
 - Materiales de construcción
 - Regulación de pH en la agricultura y la industria
 - Localización de yacimientos de petróleo
- b. Servicios ecológicos
 - Servicios de estructura física

- Protección de la línea costera
- Zonas de baja energía favorables al manglar y los pastizales
- Producción de arena fina
- Servicios bióticos
 - Areas de apareamiento, desove, crianza y alimentación para muchos organismos
 - Procesos que mantienen el equilibrio del propio ecosistema (p.e. herbivorismo y depredación)
 - Procesos de conexión con otros ecosistemas que permiten el desarrollo normal de muchos ciclos de vida complejos y sirven como vías para el transporte de energía y sustancias (p.e. migraciones diarias para la alimentación, migraciones anuales para la reproducción, migraciones ontogénicas).
- c. Servicios biogeoquímicos
 - Fijación de nitrógeno de la atmósfera (de menor importancia en los arrecifes que están cerca de grandes masas de tierra o islas montañosas)
 - Sumideros de dióxido de carbono en la escala geológica, pero emisores netos del gas en escalas de significación para el hombre (aunque en los últimos 100 años las emisiones de origen antrópico son más importantes).
 - Papel significativo en el balance mundial del calcio. La fijación de carbonato de calcio es la base misma de este ecosistema y del resto de los servicios ecológicos que brinda el mismo.
 - Servicio de limpieza al transformar y fijar sustancias contaminantes (pero no de forma ilimitada).
- d. Servicios de información
 - Algunos organismos son utilizados para el monitoreo y como registros de contaminación
 - Registros de cambios climáticos
- e. Servicios sociales y culturales
 - Recreación
 - Valores estéticos (producción de filmes, fotos y libros por un valor enorme)
 - En algunos sitios son la base del desarrollo de pequeñas comunidades costeras.

Los manglares constituyen otro ecosistema costero esencial en las zonas tropicales y en particular en la región del Caribe. Rönnbäck (1999) ha presentado un resumen de los bienes y servicios que en general prestan los manglares. El resumen de ese autor, simplificado y adaptado a la región del Caribe aparece a continuación:

- a. Productos naturales
 - Combustible (madera, carbón)
 - Construcción (casas, muebles, atracaderos)
 - Artes y medios de pesca (nasas, refugios artificiales, taninos)
 - Alimento (pesca y recolección de organismos marinos, miel)
 - Curtido de cueros (taninos)
- b. Servicios ecológicos
 - Protección contra inundaciones y huracanes
 - Control de la erosión en la zona costera
 - Zonas de crianza, refugio, reproducción y alimentación
 - Exportación de materia orgánica y nutrientes
 - Regulación de procesos bioquímicos
 - Retención de agua dulce
 - Formación de suelo
 - Sostén para comunidades humanas costeras
 - Recreación y turismo
 - Información educacional y científica

4. Impacto humano sobre la biodiversidad marina

4.1 Pesquerías y acuicultura

Los recursos pesqueros marinos del Gran Caribe son extremadamente diversos. Según Cervigón *et al.* (1992) hay más de 680 especies de peces teleósteos y 49 especies de elasmobranquios que son de interés para la pesca sólo en la costa continental norte de Sudamérica, en el tramo desde la Guayana Francesa hasta Colombia. Muchas de estas especies están también representadas en otras áreas de la región, pero cuando se añaden aquellas que son exclusivas de América central y de las Antillas, el número es aún mayor.

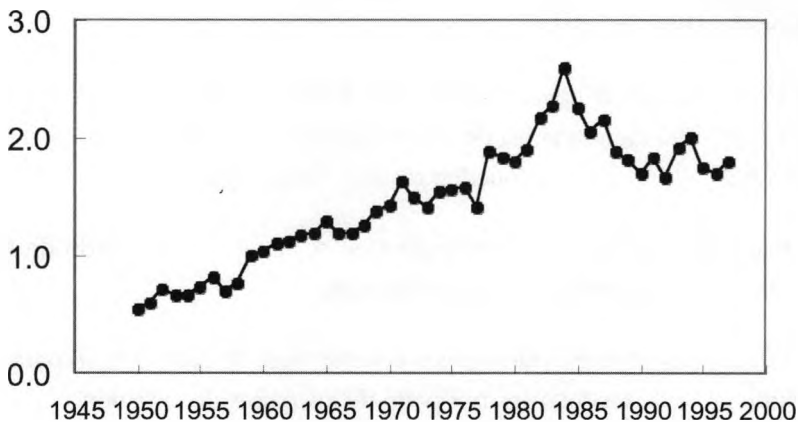


Figura 4.1 Capturas totales (millones de toneladas) en la región de COPACO

El comportamiento de las capturas en la región del Gran Caribe puede ser estimado a partir de la información brindada por la Comisión de pesca para el Atlántico centro occidental (COPACO) de la FAO. Aunque la región incluida en esta comisión

rebasaba en algo los límites de lo que se ha definido como región del Gran Caribe, las tendencias y los análisis se pueden considerar completamente representativas de esta última (Figura 4.1).

Desde 1950 hasta 1984 la tendencia de las capturas en la región fue ascendente, alcanzando un máximo en 1984 de alrededor de 2.5 millones de toneladas. A partir de ese año se observa una tendencia descendente hasta 1992. En 1993 y 1994 los volúmenes desembarcados fueron de nuevo en ascenso y alcanzaron en 1994 un nuevo máximo de 2.2 millones de toneladas. Luego de caer de nuevo en 1995 y 1996, en 1997 los desembarques totales de la región subieron de nuevo, alcanzando los 1.8 millones de toneladas (WECAFC, 1999).

La capacidad para el conocimiento y manejo de las numerosas especies que integran estas capturas varía de acuerdo al desarrollo de los países, pero aún en los más desarrollados existen serios problemas. Como ejemplo dramático se puede citar el caso de los Estados Unidos de América el país más desarrollado de la región, donde el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas declaró en 1998 al Congreso, que de las 61 unidades de población ubicadas en el Golfo de México, el estado de 49 (80%) era desconocido, mientras que de las 179 ubicadas en el Caribe, 175 (98%) están en estado desconocido (WECAFC, 1999).

Las conclusiones de la novena sesión de la COPACO, celebrada en Santa Lucía, en setiembre de 1999 dan una idea de los problemas relacionados con la pesca en la región (WECAFC, 1999). Estas se pueden resumir como sigue:

- Hay altos niveles de incertidumbre en relación con el estado de las pesquerías, incluyendo las más importantes.
- Esta incertidumbre existe a pesar del alto nivel de compromiso para un uso sostenible de los recursos por parte de los países de la región.
- En la situación actual se refleja claramente la dificultad de tratar con una alta diversidad de especies, aumentada por una estructura de las poblaciones muy compleja debido a la fragmentación del hábitat en la región. Esta fragmentación se da tanto en la plataforma continental, donde numerosos ríos establecen barreras, como en las plataformas insulares, las cuales están más o menos aisladas unas de otras y del continente.

- Hay signos de sobreexplotación en algunos recursos y las tendencias generalizadas al incremento de los desembarques son causas de preocupación.

Un problema específico importante es el de la fauna de acompañamiento de las pesquerías de camarones peneidos. Este es un serio problema a nivel mundial y la región del Gran Caribe no escapa al mismo. En los fondos blandos de la región se desarrolla una fauna demersal integrada por peces e invertebrados. Entre estos últimos se encuentran los camarones peneidos, de gran valor comercial. Estos camarones son pescados mediante arrastreros de mediano tamaño, los cuales capturan accidentalmente un peso varias veces superior de otras especies. Parte de estas capturas son consignadas en las estadísticas de pesca, pero otra parte se devuelve al mar y su volumen real es desconocido. Parte de los organismos son juveniles de otras especies, algunas con gran valor comercial como adultos.

Algunos datos ilustran porqué el problema de la fauna de acompañamiento es una preocupación seria (WECAFC, 1999). La captura accidental de peces gato fue de 5000 tm en 1988 y ascendió a 22000 tm en 1997. También se destacan otras especies cuyas capturas accidentales han venido en aumento. Entre estas se incluyen (capturas en 1997) las corvinas (6000 tm) y el robalo (5500 tm).

Otro problema existe en relación con los peces demersales vinculados a los arrecifes y en particular algunas especies de meros (Serranidae) y de pargos (Lutjanidae), de gran valor comercial. El consenso con respecto a estos grupos es que la mayoría de sus poblaciones están explotadas al máximo y algunas están sobre-explotadas (WECAFC, 1999).

Otro grupo donde existen problemas es el de los llamados "pelágicos grandes", donde se incluyen atunes, bonitos y peces de pico entre otros. Para los efectos pesqueros se habla de dos subgrupos: uno integrado por aquellas especies que realizan grandes migraciones y que se desarrollan en parte en las regiones del océano Atlántico fuera del Gran Caribe y otro subgrupo formado por las especies más bien costeras que están confinadas a la región. En el primer subgrupo predomina ampliamente el atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*), mientras que en el segundo grupo dominan las especies del género *Scomberomorus*.

Los desembarques totales de atún de aleta amarilla aumentaron mucho a principios de los años 80, llegando a sobrepasar las 30000 t. A partir de ese año se mantu-

vieron altas, pero con una tendencia descendente y llegaron en 1997 a 18000 t. La comisión internacional para la conservación de los atunes del Atlántico (ICCAT) concluyó en 1998 que el atún de aleta amarilla está explotado a plenitud y posiblemente sobre-explotado (ICCAT, 1998).

En el caso de las especies del género *Scomberomorus*, el estado de las poblaciones no se conoce adecuadamente y existen varios criterios diferentes. De todas maneras, el consenso general parece ser que existen algunas unidades de población en situación de sobre-explotación (WECAFC, 1999).

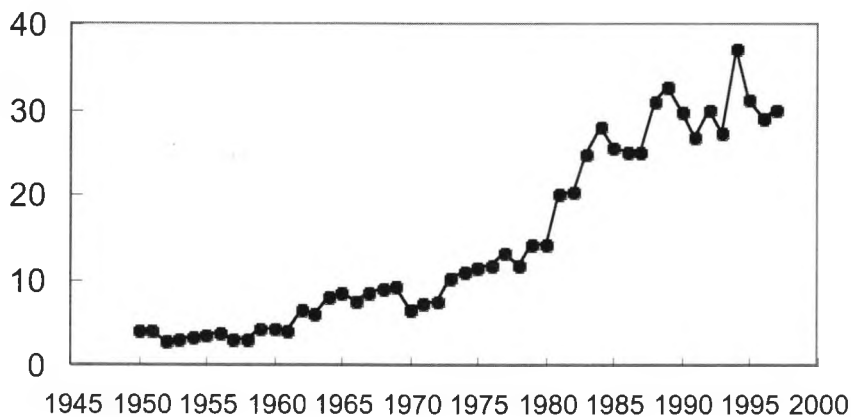


Figura 4.2 Capturas de tiburones y rayas (miles de toneladas) en la región de COPACO

Los tiburones han despertado gran interés en la región del Gran Caribe en los últimos años, debido a que existe la opinión generalizada de que este grupo de especies está sobre-explotado. Las capturas se incrementaron rápidamente desde principios de los años 50 y alcanzaron un máximo de 37000 tm en 1994. A partir de ese año cayeron ligeramente y alcanzaron un valor de 31000 tm en 1996 y 1997 (Figura 4.2). El estado de las poblaciones está muy poco comprendido actualmente y existe muy poca información sobre la composición por especies de las capturas. La fecundidad de los tiburones es en general muy baja y su vulnerabilidad muy alta, por lo que el peligro de un colapso de este grupo es muy grande (WECAFC, 1999).

Entre los crustáceos de mayor importancia comercial en el Gran Caribe están la langosta espinosa del Caribe (*Panulirus argus*) y los camarones (principalmente *Penaeus spp.*, *Hymenopenaeus robustus* y *Xiphopenaeus kroyeri*). La langosta se considera que está en estado de explotación máxima en general, con casos de sobreexplotación en algunos sitios y gran peligro potencial en toda la región, donde sus capturas han mantenido una tendencia ascendente desde los años 50 (Figura 4.3). Los camarones, sin embargo, se consideran en un estado de explotación máxima (Figura 4.4) sin un riesgo biológico eminente, pero con síntomas de sobrepesca económica (WECAFC, 1999).

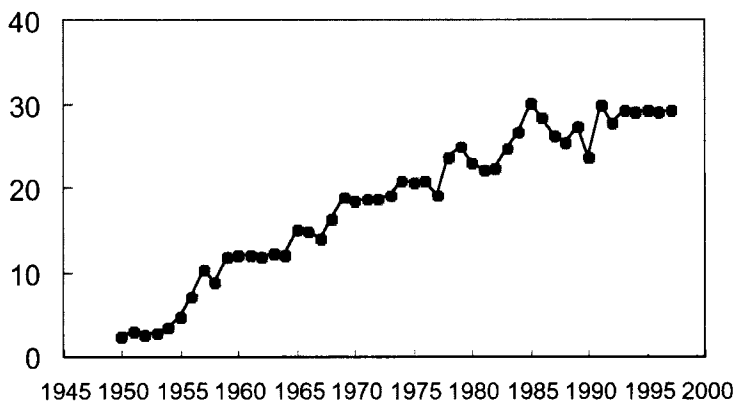


Figura 4.3 Capturas de langostas espinosas (miles de toneladas) en la región de COPACO

Entre los moluscos, los desembarques del pulpo común (*Octopus vulgaris*) y la concha reina o cobo (*Strombus gigas*) se han incrementado de forma sostenida desde finales de los años 70, mostrando las características de una pesquería en expansión. Existe muy poca información sobre el pulpo, aunque el rápido crecimiento de las capturas causa preocupación. La concha reina ha sido objeto de una atención más directa y se le han dedicado varias reuniones internacionales en la región y un número importante de artículos científicos (Stoner, 1997). En un taller realizado en marzo de 1999 en Belice (Medley, en prensa cit. por WECAFC, 1999), se concluyó que muchos países no cuentan con la base de datos mínima necesaria para determinar el estado de las poblaciones y que en aquellos casos donde si existe la información, el estado de las poblaciones va desde ligeramente explotadas hasta sobrepescada.

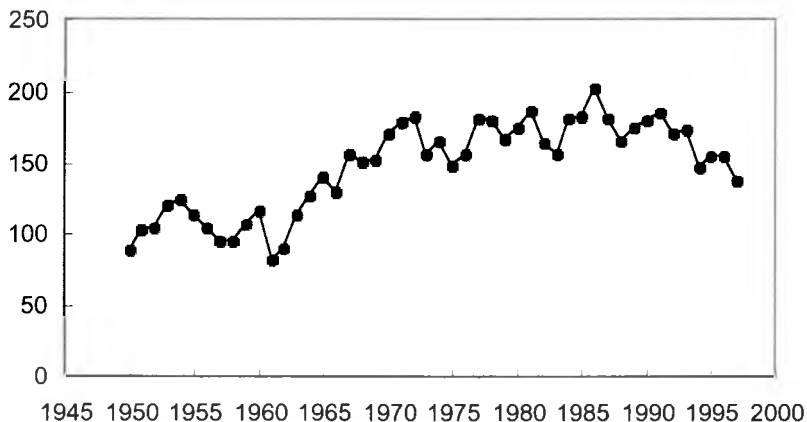


Figura 4.4 Capturas de camarones (miles de toneladas) en la región de COPACO

El problema de la sobrepesca es una amenaza importante para la biodiversidad no sólo porque disminuye drásticamente las poblaciones naturales, sino porque puede tener repercusiones a largo plazo en la integridad genética de esas poblaciones. Jameson *et al.* (1995) consignan que en la América Central y en Sudamérica la pesca submarina recreativa y la sobre-explotación de los recursos arrecifales ha llevado a una declinación de las poblaciones de peces y corales en varios países de la región del Gran Caribe. El enfoque de este fenómeno puede realizarse desde varios puntos de vista. Bohnsack y Ault (1996) llaman la atención sobre la existencia de varios tipos de sobrepesca, los cuales se resumen a continuación:

- Sobrepesca de crecimiento. Los individuos se capturan a tallas cada vez más pequeñas y menores que las que permitirían un rendimiento óptimo de la pesquería. Este es un proceso clásico que se observa en la mayor parte de las pesquerías.
- Sobrepesca de reclutamiento. Cuando la sobrepesca de crecimiento es lo suficientemente severa como para hacer disminuir críticamente la porción reproductora de la población, comprometiendo su autorrenovación. Esto ha sido comprobado en pocas pesquerías de la región.
- Sobrepesca genética. En ocasiones se capturan selectivamente los individuos con mejores condiciones genotípicas. Por ejemplo, dependiendo de

los métodos de pesca, es posible que se capturen dentro de un mismo grupo de edad los peces de crecimiento más rápido, pues estos alcanzan en menor tiempo las tallas que retienen los artes de pesca. Refiriéndose a la región tropical de las Américas, Jameson *et al.* (1995) afirman que la sobrepesca está produciendo un cambio genético hacia tamaños y tallas de primera maduración menores.

- Sobrepesca en serie. Las especies más vulnerables se agotan primero y otras las sustituyen en el interés de los pescadores. Este fenómeno es especialmente destructivo a nivel de ecosistema.
- Sobrepesca del ecosistema. Un término algo impreciso que se usa para identificar situaciones extremas cuando se degradan muy notablemente las poblaciones de especies que pueden ser claves y se altera el equilibrio del ecosistema y su capacidad para recuperarse de catástrofes naturales. Dos ejemplos en la región del Gran Caribe son:
 - El proceso de sustitución de la biajaiba (*Lutjanus synagris*, especie afectada posiblemente por la sobrepesca de reclutamiento) por los roncós (Haemulidae) de menor valor comercial en la plataforma suroccidental de Cuba (Claro *et al.*, 1990).
 - El cambio de fase ocurrido en la mayor parte de los arrecifes de Jamaica, donde el efecto combinado de la sobrepesca muy severa de los peces herbívoros (Acanthuridae, Scaridae) se combinó con la muerte natural de las poblaciones de erizos (*Diadema antillarum*, el otro herbívoro clave en el ecosistema), con los daños grandes causados por varios huracanes y con la eutrofización costera producto de la actividad humana. El resultado de todos estos factores en conjunto fue la desaparición de gran parte de los corales y el crecimiento generalizado de macroalgas (Hughes, 1994; Lapointe *et al.*, 1997). Según Jameson *et al.* (1995), otras áreas del Caribe presentan problemas similares.

El problema más importante que ha producido la acuicultura en relación con la biodiversidad marina en el Gran Caribe es la construcción de granjas camaroneras en áreas de manglar. El caso más notable es el de Colombia, donde miles de hectáreas de manglar han sido destruidas, parte de ellas en la zona del antiguo delta del río Sinú (Sánchez, 1994). Honduras es otro país del Caribe donde este problema es grave (Oyuela, 1994), pero la mayor parte de los manglares afectados están en la costa del Pacífico (Golfo de Fonseca) y su análisis no es pertinente aquí. Un caso notable en este sentido es el de Cuba, donde las granjas de camarón fueron construidas en terrenos salinizados pero desprovistos de mangle, algo lejos de la costa y no afectaron por tanto el bosque halófito.

Otro problema potencial con la acuicultura es la introducción de especies exóticas que de forma accidental puede escaparse de los sistemas controlados e invadir el ambiente marino con el consecuente peligro de alterar el equilibrio ecológico existente. No se ha encontrado ningún caso documentado para el área del Gran Caribe donde un fenómeno significativo de esta naturaleza haya ocurrido, aunque es frecuente que se consigne la aparición de especies introducidas como parte de la fauna marina, principalmente en las áreas estuarinas.

En Cuba, dentro del extenso manglar de la zona suroriental, existe un sistema de lagunas costeras (alrededor de 15 000 ha) que constituyen las áreas principales de crianza para los camarones comerciales y donde se desarrollan de forma natural especies de peces de importancia comercial (lisas, mojarras, robalos, etc.). Desde mediados de los años 70 a estas lagunas han estado llegando accidentalmente grandes cantidades de peces de agua dulce que se utilizan para los planes de acuicultura en las presas (ciprinidos y tilapia). Estas especies se han adaptado bien al ambiente marino y no parecen haber ejercido un efecto negativo sobre la ictiofauna indígena. De hecho, en la década de los 80 la producción total de algunas de estas lagunas aumentó hasta casi el doble. Este fenómeno se atribuyó al hecho de que la tilapia es un pez herbívoro, hábito alimentario que no está presente en las especies indígenas cubanas que viven en las lagunas de manglar. La tilapia consume grandes cantidades de algas filamentosas muy abundantes en las lagunas y egesta el material semidigerido, acelerando de esta forma su conversión en detrito. Esto acelera el flujo de energía en la trama alimentaria, lo que se traduce en un incremento de la productividad del sistema (González-Sansón y Aguilar, 1984).

4.2 Aguas de albañal y residuales industriales

Las aguas de albañal constituyen uno de los principales contaminantes de origen terrestre que afectan el ambiente marino en la región del Gran Caribe, particularmente en los países subdesarrollados. Aunque los inventarios no están completos, la información existente indica que los sistemas de tratamiento de las aguas negras son insuficientes en la mayor parte de los países de Centroamérica y del Caribe insular. Jameson *et al.* (1995) estiman que menos del 10% del total de las aguas domésticas de desecho reciben tratamiento antes de ser vertidas, en su mayor parte, en la zona costera. Esto hace que las prácticas de vertimiento corrientes sean muy agresivas para el medio ambiente costero (Tabla 4.1). Lo anterior contrasta con el hecho de que en la costa del Golfo de México de los Estados Unidos de América, existen numerosas plantas de tratamiento que pertenecen a las municipalidades y que en la mayoría de los casos dan tratamiento secundario, de forma que la mayor parte de las aguas servidas se vierten ya tratadas y principalmente en áreas estuarinas, las cuales tienen una mayor capacidad de carga para recibir estos desechos (UNEP, 1994b).

Tabla 4.1 Composición típica del agua de albañal en el Gran Caribe (UNEP, 1998 a)

Componente	Concentración (mg/l)
Sólidos en Suspensión Totales	200-300
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	200-250
Demanda Química de Oxígeno	350-450
Nitrógeno total como N	25-60
Fósforo total como P	5-10
Aceites y grasas	80-120

La situación explicada anteriormente con los albañales genera gran preocupación en la región debido al peligro potencial para la salud humana, ya sea por contacto directo o a través del consumo de productos marinos contaminados. Además, los efluentes urbanos no tratados pueden causar un daño a largo plazo en los ecosistemas costeros debido a la carga de nutrientes que llevan y a la presencia ocasional de sustancias tóxicas de muy diverso tipo. Las preocupaciones existentes se agravan por el hecho de que el crecimiento de la población en la zona costera no es despreciable y se producirá principalmente en los países con peores condiciones en el tratamiento de los residuales.

temas costeros debido a la carga de nutrientes que llevan y a la presencia ocasional de sustancias tóxicas de muy diverso tipo. Las preocupaciones existentes se agravan por el hecho de que el crecimiento de la población en la zona costera no es despreciable y se producirá principalmente en los países con peores condiciones en el tratamiento de los residuales.

Otra actividad que contribuye cada vez más a la producción de cantidades crecientes de aguas negras es la industria turística en constante expansión. Esta genera la construcción de hoteles que en la mayor parte de los casos deben operar sus propias plantas de tratamiento, dada la insuficiencia generalizada en este aspecto que se señaló anteriormente. En las condiciones típicas de muchos países de la región caribeña, donde las regulaciones y su control son insuficientes, muchas de estas plantas no operan adecuadamente. También la descarga de aguas servidas de los buques comerciales y de recreación ha sido incluida entre las fuentes de contaminación en el Caribe (UNEP, 1994b).

Las aguas residuales industriales tienen una amplia gama de concentraciones de sustancias contaminantes (Tabla 4.2). Las aguas de desecho de las refinerías de petróleo producen el 70 % de toda la carga de DBO en el Caribe. Estos residuales tienen

Tabla 4.2 Composición típica de las aguas residuales de algunas industrias comunes en el Gran Caribe (UNEP, 1998 a)

Industria	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)	Metales presentes	Compuestos volátiles presentes	Compuestos orgánicos refractarios presentes (mg/l)
Refinería de petróleo	100-300	100-250	200-3000	Arsénico Hierro	Sulfuros	Fenoles 0-270
Tenerías	1000-3000	4000-6000	50-850	Cromo	Sulfuros Amonio	
Plantas embotelladoras	200-6000	0-3500				
Destilerías y Centrales azucareros	600-32000	200-30000			Amonio	
Procesamiento de alimentos	100-7000	30-7000				
Fábricas de papel	250-15000	500-100000		Selenio Zinc		Fenoles 0-800
Planta Química	500-20000	1000-170000	0-2000	Arsénico Bario Cadmio		Fenoles 0-5000

de la contaminación, porque son frecuentemente tóxicas para los organismos marinos, aún a bajas concentraciones. Esta toxicidad puede incluso enmascarar la evaluación de DBO, porque mata a los organismos que intervienen en los procesos (UNEP, 1998 a). A nivel global, los residuales industriales introducen una carga contaminante mucho mayor que los albañales domésticos (Tabla 4.3).

Las aguas residuales domésticas e industriales causan un notable perjuicio a la biodiversidad marina y pueden ser la causa directa de la casi desaparición de la vida en determinadas zonas. Más frecuentemente, sin embargo, su efecto es subletal y lo que producen es un cambio de fase en los ecosistemas marinos. Sus efectos principales se podrían resumir como sigue:

- Incremento de los sólidos en suspensión (ver sección 4.4 para consecuencias)
- Incremento de los nutrientes (ver sección 4.5 para consecuencias)
- Incremento de la materia orgánica que conduce a una disminución del oxígeno disuelto en el agua, llegando en situaciones extremas a producir anoxia.
- Incremento de la concentración de metales pesados, muy tóxicos

Tabla 4.3 Sumario de las cargas contaminantes en el Gran Caribe (Toneladas/año). Subregiones definidas según UNEP (1998 a); ver definiciones al pie de la tabla. DBO = Demanda bioquímica de oxígeno. SST = Sólidos en suspensión totales. NT = Nitrógeno total. PT = Fósforo total.

PARAMETRO	SUBREGIONES					TOTAL
	I	II	III	IV	V	
DBO						
Doméstico	115 656	16 785	71 079	4 790	260 171	506 482
Industrial	2 245 762	126 858	357 441	94 707	603 370	3 428 138
SST						
Doméstico	116 327	16 427	90 214	4 617	228 744	456 329
Industrial	27 821 848	149 887	993 964	270 270	2 684 948	31 920 953
NT						
Doméstico	34 070	2 419	5 239	710	86 338	128 786
Industrial	17 234	40 526	43 265	37 306	211 107	349 435
PT						
Doméstico	19 141	1 467	5 503	531	33 475	60 117
Industrial	17 717	4 519	12 690	15 171	32 537	82 634
Aceite y grasas						
Doméstico	41 370	2 001	6 089	504	18 975	68 939
Industrial	640 181	8 611	128 024	41 227	162 608	908 701

SUBREGION I: Golfo de México (Cuba, México y U.S.A.)

SUBREGION II: Caribe occidental (México y países de Centroamérica)

SUBREGION III: Caribe nor-oriental y central (Antillas mayores, Bahamas, Islas Caimán y Turcos y Caicos)

SUBREGION IV: Caribe oriental (Antillas menores)

SUBREGION V: Caribe meridional (Colombia, Venezuela, Antillas holandesas y Trinidad-Tobago).

4.3 Hidrocarburos del petróleo

La región del Gran Caribe es una de las áreas más importantes de extracción de petróleo del mundo. La producción total es de 170 millones de toneladas anuales, principalmente por Colombia, México, Trinidad-Tobago, USA y Venezuela (UNEP, 1994b). La actividad extractiva y la transportación del crudo, implican riesgos altos de derrames, los cuales se producen con frecuencia a diferentes escalas. El accidente más grave en la región fue la explosión del pozo mexicano IXTOC I en 1979. La operación para controlar el derrame duró 9 meses, durante los cuales se vertieron aproximadamente 500 000 tm de crudo ligero a las aguas del Golfo de México (Jernelov y Linden, 1981).

Otra fuente potencial de contaminación relacionada con la extracción de petróleo es la llamada "agua producida", que se libera desde los depósitos subterráneos de gas y petróleo en el proceso de extracción. Esta agua se descarga en el ambiente marino junto con el cieno de perforación desechado. En esta agua se encuentran sustancias que ejercen una alta demanda de oxígeno junto con PAHs, benceno, etilbenceno, xileno y metales pesados como plomo, cobre, níquel y mercurio (UNEP, 1994b).

El programa CARIPOL fue ejecutado entre 1980 y 1987 por 15 países de la región del Caribe para determinar cuantitativamente los niveles reales de contaminación por hidrocarburos en el ambiente marino. Este programa regional produjo la base de datos más grande hasta hoy sobre contaminación por hidrocarburos en el Gran Caribe (9000 observaciones). Las conclusiones principales fueron: i) que existe un nivel alto de contaminación por hidrocarburos en las aguas costeras semicerradas y mucho menor en las aguas oceánicas; ii) las fuentes más importantes son la entrada desde el Atlántico y la limpieza de las aguas de lastre (Atwood *et al.*, 1987).

Las fuentes más difundidas de sustancias tóxicas en la región son las refinerías de petróleo. En un análisis cuantitativo realizado a nivel del Gran Caribe, se determinó la existencia de 97 refinerías que tienen una capacidad total de refinamiento de 574 millones de toneladas de crudo por año. Un estudio relativamente reciente apunta a las refinerías y plantas petroquímicas como principales fuentes de emisión de hidrocarburos al ambiente marino en la cuenca del Gran Caribe (UNEP, 1992 cit. por UNEP, 1994b).

El impacto de los grandes derrames de petróleo sobre la biodiversidad marina es generalmente muy destructivo y evidente, pero el efecto de la contaminación crónica a bajo nivel es todavía un asunto que requiere de mucha investigación, sobretodo en la cuenca del Gran Caribe.

Las especies principales que forman los bosques de mangle (*Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*) han desarrollado adaptaciones fisiológicas (neumatóforos, lenticelas) para poder respirar en ambientes de muy baja concentración de oxígeno. Cuando el petróleo derramado cubre estas estructuras, impide la ventilación de las plantas, causando la muerte de las raíces por falta de oxígeno. Por esta razón, los manglares son muy sensibles a los derrames de petróleo y su recuperación luego de un desastre puede ser muy lenta. A lo anterior se suman los altos valores de DBO y la toxicidad directa de los compuestos del petróleo. Peteras *et al.* (1997) citan el caso de algunas áreas de Bahía Sucia, en Puerto Rico, donde un derrame de petróleo ocurrido en 1973 destruyó totalmente los manglares. Estas áreas continuaban sin mangle 20 años después.

4.4 Erosión y sedimentos

Los ríos descargan una gran cantidad de sedimentos en las zonas marinas costeras de la región del Gran Caribe (Tabla 4.4). Mucho de este material particulado tiene origen natural, pero su volumen se ha visto incrementado en las últimas décadas por las actividades humanas que aceleran los procesos de erosión, tales como la deforestación, la urbanización y la agricultura (Rawlings *et al.*, 1998).

Tabla 4.4 Cargas de sedimentos estimadas de los ríos que desembocan en la región del Gran Caribe (UNEP, 1994)

RÍOS / REGIONES	CARGAS DE SEDIMENTO 10 ⁶ TM / AÑO
Río Mississippi	320
Otros ríos que descargan en el Golfo de México	121
Ríos de América Central y las Antillas *	300
Río Magdalena	235
Río Orinoco	85
Otros ríos de Colombia y Venezuela *	50

* Estimados calculados en base al área de drenaje y una tasa de erosión de 200 t/año.

La deforestación de las cuencas de los ríos ha sido señalada como la causa principal y que produce más preocupación en cuanto al incremento de las cargas de sedimentos que arriban a las aguas costeras transportadas por los ríos en el Gran Caribe (UNEP, 1994b). Altas tasas de deforestación en el Caribe han sido confirmadas en un informe del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, 1992 cit. por Rawlings, 1998) donde se estima una reducción del 9.3 % del recubrimiento forestal en la región entre 1977 y 1989.

Se ha señalado que la restricción más seria a la producción agrícola en la región del Gran Caribe está constituida por lo inadecuado de los suelos en la región. Una parte importante de la región está constituida por colinas y mesetas susceptibles de erosión y degradación de las tierras. Las áreas más vulnerables a la erosión son las Antillas mayores y menores, parte de la costa caribeña de Sudamérica y Trinidad-Tobago (UNEP, 1998 b). La agricultura puede contribuir notablemente a incrementar la erosión a través de prácticas inadecuadas. La Reunión de Expertos para las Medidas de Control de la Contaminación por Esgurrimiento Agrícola efectuada en Santa Lucía en 1998 identificó varias causas que se resumen a continuación (UNEP, 1998 b):

- Plantaciones en pendientes muy inclinadas
- Deforestación
- Desbrozado
- Métodos inapropiados de cultivo
- Preparación del sitio en tiempo inapropiado
- Compactación por los animales
- Métodos inapropiados de irrigación y manejo del agua
- Canalización y drenajes artificiales

La consecuencia principal en la zona costera marina de la erosión, es un aumento de la turbidez del agua, de los sólidos en suspensión y del aumento de la sedimentación. Aunque los datos son muy escasos, se considera que los arrecifes cercanos a la costa de Centroamérica y en áreas del Caribe oriental, están sufriendo estrés por sedimentación producida por la agricultura. Existe un estimado de efectos a largo plazo que sugiere la pérdida de un 30 % de tierra arable no irrigada en América Central (Hoagland *et al.*, 1995, cit. por UNEP, 1998 b). Gran parte de esa pérdida debe ir a parar al mar, aunque Rawlings *et al.* (1998) insisten en que se necesitan más

estudios para establecer el vínculo entre la erosión del suelo en las tierras cultivadas, el transporte por vía de los ríos y su destino final en la zona costera, teniendo en cuenta las variaciones estacionales y, particularmente, durante los eventos catastróficos. Estos autores también llaman la atención sobre la necesidad de evaluar los niveles presentes de sedimentación en una perspectiva histórica a largo plazo.

Otra fuente de ingreso a la zona marina costera de material particulado en suspensión es la actividad minera. En la región del Gran Caribe se pueden citar como ejemplos destacados la extracción de bauxita (principalmente en Jamaica, Surinam y Guyana) y de mineral de níquel (principalmente en Cuba y República Dominicana). En la actualidad se cuenta con muy poca información sobre la magnitud de este impacto en la región (UNEP, 1994b).

Otras fuentes potenciales, pero cuyo impacto está mal documentado en la región son el vertido de materiales de desecho en alta mar, las actividades de dragado con fines de navegación, y el vertido de los sedimentos de las plantas de tratamiento de aguas de albañal.

Entre los efectos de la sedimentación que afectan la biodiversidad marina se pueden citar los siguientes:

- Reducción de la entrada de luz y afectación consecuente de las tasas de fotosíntesis de los autótrofos
- Recubrimiento de áreas de desove y de alimentación
- Asfixia de comunidades bentónicas
- Obstrucción de la capacidad de filtrado de los suspensívoros
- Obstrucción y daño a las branquias de peces e invertebrados
- Incremento del gasto energético para la limpieza de los organismos (ej. corales)
- Disminución de la visibilidad, que afecta la alimentación y la reproducción

Rawlings *et al.* (1998) citan dos casos (en Costa Rica y en la isla de Santa Lucía) en los cuales se ha documentado que la sedimentación incrementada por la actividad humana han afectado los arrecifes de coral costeros.

4.5 Nutrientes

El ingreso a las aguas marinas costeras de grandes cantidades de compuestos del fósforo y del nitrógeno da lugar a un fenómeno llamado eutrofización. Las consecuencias de ese fenómeno pueden ser muy graves, sobre todo en sitios semicerrados y por ese motivo este fenómeno preocupa mucho en la actualidad en la cuenca del Gran Caribe, donde ha sido considerado el origen de los problemas de contaminación más frecuentes (UNEP, 1998 b). Entre los arrecifes de Jamaica y Barbados existen ejemplos documentados de deterioro de estos ecosistemas como consecuencia de la eutrofización (Rawlings *et al.*, 1998)

El proceso de desarrollo en muchos países ha conducido a prácticas agrícolas cada vez más intensivas, las cuales han requerido de un aumento en el uso de los fertilizantes (basados principalmente en fósforo y nitrógeno). Una parte de esos fertilizantes van a parar a las aguas costeras arrastrados por los ríos y las aguas de escurrimiento en general. Según datos del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, 1992 cit. por UNEP, 1994 b), el uso de fertilizantes promedio en 17 países de la cuenca del Gran Caribe se incrementó de 62.3 kg / ha en 1979 a 81.6 kg / ha en 1989.

Otra fuente de nutrientes en exceso son las aguas de albañal. Los residuales urbanos contienen cantidades apreciables de materia orgánica que al oxidarse libera fósforo y nitrógeno. El papel de los albañales en la eutrofización está bien documentado y Rawlings *et al.* (1998) citan casos en Barbados, Bahamas y Jamaica.

Los efectos con significado ecológico que se derivan del enriquecimiento de nutrientes incluyen, entre otros, los siguientes:

- Crecimiento explosivo de algunos organismos fotosintetizadores del fitoplancton (mareas rojas) que muchas veces son tóxicos y producen mortalidades masivas de organismos marinos
- Crecimiento incrementado del fitoplancton en zonas donde normalmente es poco abundante, alterando las condiciones del hábitat para los organismos bentónicos (disminución de la entrada de luz, aumento de materia orgánica en suspensión). Este es uno de los problemas graves que pueden afectar a los arrecifes de coral.

- En el caso de los pastizales, las pequeñas algas epífitas que normalmente crecen sobre las hojas de las fanerógamas (principalmente *Thalassia testudinum*) hacen un mejor uso del exceso de nutrientes y crecen muy rápido, obstruyendo el paso de la luz a las plantas que le sirven de soporte y provocando pérdidas de áreas con vegetación acuática sumergida, lo que equivale a una pérdida de hábitats.
- Crecimiento incrementado de macroalgas bentónicas en los arrecifes de coral, las cuales entran en competencia por el espacio con los corales y otros organismos.
- En muchas ocasiones el crecimiento excesivo de los autótrofos es seguido por una mortalidad masiva de los mismos, pues no pueden ser consumidos por los heterótrofos herbívoros. El proceso de descomposición de la gran cantidad de materia orgánica así producida consume grandes cantidades de oxígeno y provoca condiciones de anoxia, con graves consecuencias para la biodiversidad marina.
- Parte de los nutrientes se pueden acumular en los sedimentos y ser liberados más tarde cuando ocurren cambios en el ambiente acuático (p.e. temperatura, salinidad).

4.6 Pesticidas

La actividad agrícola y pecuaria intensiva conlleva el uso de grandes cantidades de insecticidas, herbicidas, fungicidas y otras sustancias para el control de organismos indeseables. La mayor parte de estas sustancias se administran en exceso y gran parte de las mismas es arrastrada hacia las aguas costeras. Se ha estimado que el uso de pesticidas debería incrementarse en América Latina en un 280 % en el período 1980-2000 (Altieri, 1991 cit. por UNEP, 1998 b). En términos generales, el uso de pesticidas en la región del Gran Caribe ha ido en aumento (Tabla 4.5). Algunas fuentes consideran que los pesticidas son, actualmente, los desechos químicos primarios en el Caribe (UNEP, 1998a).

Debido a su gran toxicidad y efectos bien documentados, estas sustancias fueron de las primeras en constituir objeto de preocupación. Una medida general fue cambiar los compuestos originales muy persistentes (organoclorados, p.e. DDT) por compuestos que se degradan con mayor rapidez (organofosforados y carbamatos). Otra tendencia, presente fundamentalmente en las zonas de USA que dan al Golfo de México fue la introducción de pesticidas modernos que requieren dosis de aplicación mucho más bajas que las tradicionales. Es importante destacar, sin embargo, que muchos pesticidas cuyo uso está prohibido en los países desarrollados, son utilizados ampliamente en América Latina (Altieri, 1991 cit. por UNEP, 1998 b). Aproximadamente el 75 % de los pesticidas utilizados en América Central están prohibidos o restringidos en los Estados Unidos (LACCDE, 1990 cit. por UNEP, 1998 b).

Los pesticidas son tóxicos para los crustáceos (camarones, langostas, cangrejos) y también para algunos peces. Ellos se bioacumulan en algunos representantes de la

Tabla 4.5 Datos de importación de pesticidas en tres años seleccionados (1961, 1978 y 1995) en un grupo de países del Gran Caribe, principalmente isleños (FAO, 1997 b cit. por Rawlings et al., 1998)

PAÍS	IMPORTES DE PESTICIDAS (en miles de USD)		
	1961	1978	1995
Antigua y Barbuda	61	358	900
Antillas Holandesas	235	2300	2000
Aruba	0	0	2000
Bahamas	202	716	4400
Barbados	201	2714	5443
Belice	44	1597	4891
Cuba	2000	43788	80000
Dominica	20	410	2200
Granada	100	432	700
Guadalupe	304	4063	15187
Guyana	220	2143	2000
Haití	70	1439	1500
Islas Caimán	120	480	800
Islas Vírgenes (R.U.)	30	100	170
Islas Vírgenes (U.S.A.)	120	229	240
Jamaica	1098	666	8500
Martinica	407	5990	15676
Montserrat	5	47	90
República Dominicana	870	7665	10000
St. Kitts y Nevis	30	209	650
Santa Lucía	150	726	4500
St. Vincent/Granadines	0	380	2500
Surinam	334	4046	5500
Trinidad y Tobago	1230	4864	8296

fauna marina. Pueden causar trastornos en la reproducción y en otros procesos metabólicos y aquellos que son persistentes y se acumulan en los tejidos de los organismos de interés comercial constituyen un peligro para el hombre.

4.7 Basura sólida y desechos marinos

Aunque no existe información publicada sobre los volúmenes de basura sólida que afectan el medio marino en el región del Gran Caribe, existe el consenso de que este es un fenómeno que se ha ido incrementando en los últimos tiempos. Este incremento tiene su origen, por una parte, en el aumento de la producción de este tipo de basura debido al crecimiento de la población y el aumento del turismo. Por otra parte, las prácticas de manejo de esta basura son en general muy deficientes. Este tipo de basura está compuesto principalmente por objetos de plástico de diversa naturaleza, recipientes de metal y vidrio, y objetos muy variados de papel, madera, goma y tela.

Una parte importante de la basura sólida se genera en la forma de desechos marinos a partir de la actividad de navegación, pesquerías comerciales, y otras actividades en el mar (p.e. plataformas de extracción de petróleo). Aunque hay disposiciones internacionales para prohibir el vertido de basura al mar por los barcos, estas implican la existencia de infraestructura portuaria que pueda recibirlas. Esta infraestructura está ausente o es deficiente en muchas instalaciones portuarias de los países del Gran Caribe, lo que crea condiciones para un incumplimiento de las regulaciones establecidas.

Los sistemas de vientos predominantes y las corrientes marinas imperantes en la región hacen que determinadas zonas actúen como áreas de acumulación de basura sólida que es transportada largas distancias. Así los cayos de la Florida recogen mucho del material que se genera en el estrecho de la Florida, el arco de las Antillas Menores recibe gran cantidad de restos flotantes generados en el Atlántico y el tramo entre Key West y Cabo Cañaveral se considera como uno de los basureros mayores de la región (UNEP, 1994b). A una escala local también existen áreas de concentración.

Un aspecto específico de notable importancia es la acumulación de brea o alquitrán flotantes en la playas de la región que están ubicadas a barlovento. Durante el proyecto CARIPOL se pudo determinar grandes acumulaciones de este material en

playas de las costas del sur de la Florida, Islas Caimán y Curazao, así como las playas de barlovento de Barbados, Granada y Trinidad-Tobago, entre otros (UNEP, 1994b).

La presencia de basura sólida de todo tipo en las playas conspira fuertemente contra el valor de las mismas para su uso en la recreación y el turismo. También existen numerosos ejemplos de daño a la vida animal ya sea porque los organismos se enredan con los desechos o porque los consumen al confundirlos con alimento. En la región hay una preocupación cada vez mayor con este problema y los programas de educación ambiental incluyen este aspecto entre sus prioridades.

4.8 Sustancias tóxicas

Las fuentes principales de sustancias tóxicas son sobre todo las industrias (principalmente refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, industrias químicas, aserríos y molinos de pulpa de madera, plantas de producción de pesticidas y acerías). Estas pueden realizar sus emisiones como parte de las operaciones de manufactura, descargas de efluentes intencionales o de manera accidental. Los desechos generados contienen, entre otros productos, los siguientes: metales pesados, hidrocarburos aromáticos polinucleares (carcinogénicos), dioxinas, diferentes tipos de pesticidas, y sustancias nocivas orgánicas e inorgánicas.

Es poca la información específica que existe sobre muchas de estas sustancias tóxicas en las regiones tropicales en general y en el Gran Caribe en particular. Según *Peters et al.* (1997), los bifenilos policlorinados (PCB) fueron detectados en los años 70 en manglares del Caribe, pero no se han vuelto a medir y las dioxinas no han sido examinadas. Estos autores señalan que la causa principal citada para esta falta de conocimiento es el alto costo de los análisis y la falta de instalaciones apropiadas. .

La actividad industrial de la región está concentrada en varios sitios principales, entre las que se encuentran la costa de Texas-Lousiana (USA) en el Golfo de México; el área industrial del lago Maracaibo, Venezuela; el complejo industrial "Mamonal" de la bahía de Cartagena, Colombia; la costa oeste de Trinidad; el puerto de Kingston, Jamaica y el puerto de La Habana, Cuba.

4.9 Destrucción de hábitats

Se ha planteado que la mejor vía para conservar la biodiversidad marina es evitar la destrucción de los hábitats, fenómeno que ha sido considerado como la amenaza más crítica hacia los sistemas costeros a nivel global (GESAMP, 1997). Dada la interacción que existe entre los distintos hábitats en la zona costera, es muy importante tener presente que se debe conservar esta diversidad de hábitats si se quiere preservar la biodiversidad.

En el caso de los manglares, la actividad forestal incontrolada puede llevar a la destrucción directa por el hombre de extensas áreas de vegetación con el consecuente deterioro del ecosistema marino que depende de la misma. No solo se destruye el refugio natural que ofrecen las raíces del mangle rojo, sino que también se incrementan los procesos de sedimentación por arrastre desde tierra y la eutrofización de las cuencas semicerradas, lo que puede ser letal para los arrecifes de coral cercanos. El talado de los manglares puede tener otros fines, como crear áreas para la agricultura (p.e. arroz) o para la acuicultura (p.e. granjas de camarón). La extensión de este problema en el Gran Caribe varía según los países y la información sobre tasas de deforestación de estos bosques es fragmentaria e impide comparaciones, aunque en algunos sitios se considera alarmante (Suman, 1994).

El impacto directo sobre los arrecifes de coral es menor. Aunque en algunos sitios aislados en el Gran Caribe exista cierta práctica de pesca con dinamita, esta no es un problema regional ni local, como ocurre en algunas regiones del Indo-Pacífico. Algunas actividades, sin embargo, destruyen de forma directa la estructura misma del arrecife como es la visita de buzos poco entrenados que rompen los corales, el anclaje de las embarcaciones recreativas, los buques que encallan y aún las prácticas de ejercicios militares (Goenaga, 1988).

4.10 Disminución del escurrimiento

Las alteraciones humanas de las cuencas que causan un desvío del escurrimiento del agua dulce desde zonas algo alejadas de la costa (p.e. represas, canales), pueden tener impactos muy severos en los bosques de mangle, especialmente en zonas con clima seco. Los cambios en el escurrimiento de agua dulce pueden provocar la

distribución de los humedales y reducir la productividad y calidad como hábitat de estas formaciones. Estos factores de conjunto pueden a su vez provocar una seria alteración en la productividad secundaria de los ecosistemas estuarinos tropicales (Twilley, 1998).

El impacto más dramático de desvío del escurrimiento en la región del Caribe ocurrió en Colombia, donde la construcción de carreteras y diques restringió el flujo de agua dulce desde el río Magdalena hasta la Ciénaga Grande de Santa Marta, resultando en la muerte de 25000 ha de mangle en la última década (Botero, 1990 cit. por Twilley, 1998). También se han documentado daños severos a los manglares producidos por una disminución en el escurrimiento en las zonas secas del Caribe, en Texas y en la región de los Everglades, en Florida, U.S.A. (Cintrón *et al.*, 1978; Britton y Morton, 1989 y McIvor *et al.*, 1994 cit. por Twilley, 1998).

En Cuba, los llamados “fondos camaroneros”, donde existen poblaciones muy grandes de camarones comerciales (principalmente el camarón rosado, *Penaeus notialis*), ocupan aproximadamente unos 6000 km². En esos fondos se desarrolla, desde mediados de la década de los años 60, una pesquería comercial industrial con arrastreros altamente eficientes. A mediados de los años 70, la intensidad del esfuerzo pesquero sobrepasó la capacidad de regeneración natural de las poblaciones de

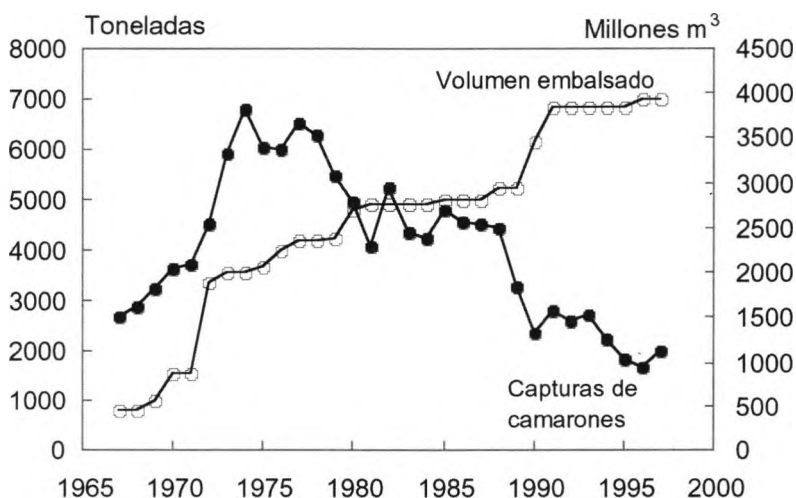


Figura 4.5. Capturas de camarones (toneladas) y volumen de agua embalsada (millones de metros cúbicos) en la región suroriental de Cuba (según Páez *et al.*, 1997)

camarón y las pesquerías se desplomaron por efecto de la sobrepesca. La reacción administrativa fue la correcta y se tomaron un grupo de medidas serias para eliminar el problema. Estas medidas incluyeron la declaración de áreas vedadas (protegiendo principalmente las zonas de crianza) y la reducción del número de barcos pescando a la mitad. Con esto se logró estabilizar las capturas durante varios años. A finales de los 80, sin embargo, las capturas comenzaron a caer de nuevo, tendencia que se ha mantenido con fluctuaciones hasta nuestros días. Los especialistas cubanos coinciden en atribuir el problema al represamiento masivo de los ríos de la región, que han hecho disminuir notablemente el aporte de agua dulce a la zona costera, con el consecuente impacto negativo en las áreas estuarinas y los fondos de plataforma relacionados estrechamente con las mismas (Figura 4.5). Los especialistas han estimado en 3000 a 4000 millones de m³ la disminución en el volumen total del escurrimiento (González-Sansón y Aguilar, 1984; Baisre, 1993, Páez *et al.*, 1997).

El caso anterior es una demostración del papel clave que juega el escurrimiento en el mantenimiento de algunos ecosistemas costeros. Es posiblemente la situación de afectación de la zona costera mas extensa que existe en Cuba y la que más repercusión ha tenido en el plano económico. También es un caso muy importante de conflicto intersectorial, ya que el represamiento de los ríos resulta esencial para garantizar el desarrollo de la agricultura, la ganadería y el consumo de agua en las ciudades de la región.

Si la falta de agua dulce es dañina para los manglares, su exceso también lo es. En el sur de la Florida y otras partes de la costa del Golfo de México, se ha utilizado la estrategia de mantener los humedales inundados permanentemente para interrumpir el ciclo de vida de insectos perjudiciales, principalmente mosquitos. Este incremento en el nivel del agua y su permanencia han producido mortalidad en los árboles de mangle. También la construcción de carreteras ha provocado un efecto semejante, al producir el estancamiento de las aguas (Twilley, 1998).

5. Soluciones a los problemas ambientales

5.1 Regulación de las pesquerías

Para poder comprender las cuestiones esenciales sobre los métodos utilizados para la regulación de las pesquerías, sus limitaciones y las posibles alternativas que se están planteando en la región del Gran Caribe, es preciso explicar brevemente algunas características básicas que son comunes a la mayor parte de las pesquerías en el mundo y que hoy día se consideran como el mejor marco conceptual para el análisis de la actividad extractiva, la cual constituye uno de los impactos humanos más grandes sobre la biodiversidad marina.

a. Modelo general de desarrollo de una pesquería (Figura 5.1)

Al analizar la historia de la mayor parte de las pesquerías en las más diversas partes del mundo y sobre muchas especies diferentes, se aprecian las siguientes etapas generales (García *et al.*, 1999):

- Etapa de subdesarrollo: A continuación del descubrimiento del recurso y durante un tiempo más o menos variable, existe una fase de subutilización del recurso, con niveles de explotación nulos o muy bajos.
- Etapa de desarrollo: Cuando aparece la tecnología esencial, se crea la infraestructura adecuada y aparece una demanda en el mercado, se inicia la fase de crecimiento de la pesquería, durante la cual el esfuerzo pesquero y las capturas aumentan rápidamente, frecuentemente estimulados por subsidios y créditos de origen público, e intereses de la industria privada.
- Etapa de madurez: Al final de la fase de desarrollo, la pesquería alcanza la etapa de madurez (o desarrollo "total"), cuando las capturas alcanzan su nivel

potencial máximo. En esta etapa se incrementa notablemente la variabilidad de las poblaciones explotadas. En la mayor parte de los casos el crecimiento del esfuerzo pesquero no se puede controlar y este crece más allá de los valores necesarios para un nivel óptimo desde el punto de vista económico.

- Etapa de declinación: Como consecuencia del crecimiento continuado del esfuerzo de pesca, en muchas pesquerías ocurre una fase de declinación, durante la cual aparecen los síntomas de sobrepesca, con una disminución en las capturas. En los casos más severos, se afecta la capacidad reproductiva de la población explotada (sobrepesca de reclutamiento) y puede ocurrir el colapso de la pesquería.

Recientemente se ha observado, en algunos casos, una quinta etapa de mejoramiento ("artificialización"), durante la cual se puede producir una recuperación de las poblaciones gracias a la acción del hombre (provisión de juveniles cultivados artificialmente, mejoramiento del hábitat).

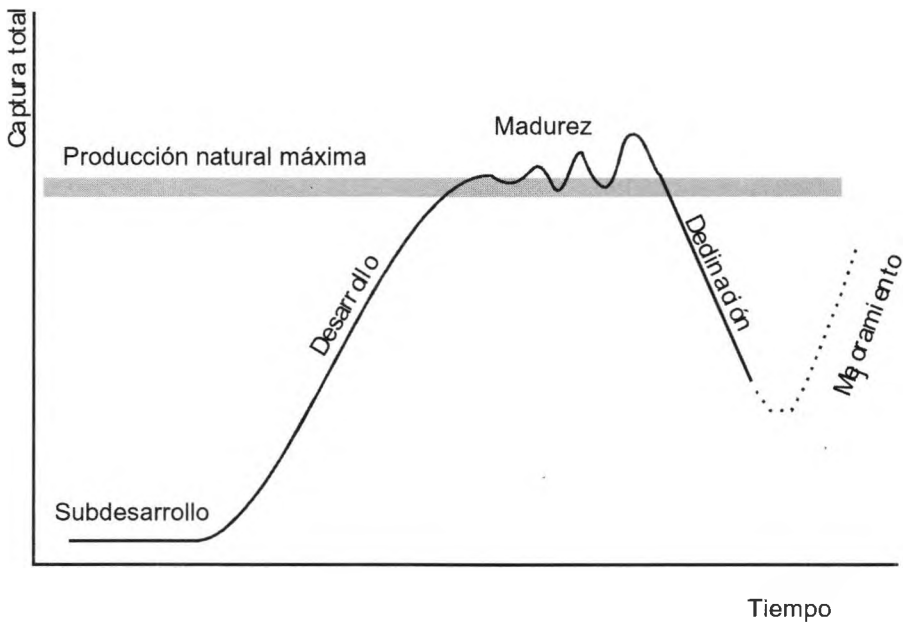


Figura 5.1. Etapas en el desarrollo de una pesquería generalizada (García *et al.*, 1999)

Un análisis global reciente (FAO, 1997a) encontró que al determinar el estado de desarrollo de los 200 recursos pesqueros principales a nivel mundial, el 35% de los mismos se encontraba en fase de declinación, el 25% en fase de madurez, 40% se podían considerar aún en desarrollo y no existe ninguno en fase de subutilización. La conclusión fue que la sobrepesca es un serio problema a nivel global.

b. Modelo bioeconómico simple de una pesquería

La mayor parte de las pesquerías del mundo, en general, y de la región del Gran Caribe, en particular, operan en condiciones de acceso abierto a los recursos que son explotados. En estos casos, la entrada a la pesquería se produce libremente y el único costo es el de la adquisición y operación de embarcaciones y artes de pesca. Este problema ha sido considerado como el aspecto individual más importante que debe resolverse para evitar las pérdidas económicas masivas de las pesquerías actuales (FAO, 1992).

Un modelo simplificado que se puede utilizar con fines ilustrativos de los efectos del acceso abierto puede ayudar a definir algunos conceptos claves (Figura 5.2). Este modelo tiene las siguientes características (Christy, 1997):

- Se asume que el costo de una unidad de esfuerzo es constante. Por lo tanto, el costo total del esfuerzo de pesca es una función lineal de dicho esfuerzo.
- Se asume que las capturas totales están relacionadas con el valor del esfuerzo según una curva que presenta un máximo a niveles intermedios del esfuerzo. Esto quiere decir que las capturas aumentan al aumentar el esfuerzo en niveles relativamente bajos, alcanzan un valor máximo en algún punto y a partir de ahí declinan, disminuyendo al aumentar el esfuerzo. Esta es una tendencia que predicen los modelos biológicos teóricos más aceptados y que ha sido observada realmente en muchas pesquerías.
- Se asume que el valor de una unidad de captura es constante. Por ese motivo, el valor total de la captura aumenta al aumentar la captura y disminuye al hacerlo esta de forma lineal.

- En el valor de esfuerzo pesquero donde la pendiente de la rama ascendente de la curva de valor de la captura es igual a la pendiente de la recta que representa el costo del esfuerzo (E1), se obtiene el beneficio económico neto máximo. Este es el punto donde la pesquería se hace óptima desde el punto de vista económico (Captura máxima económica o CME).
- En el punto donde se obtienen las mayores capturas (E2) se considera que se está extrayendo la captura máxima sostenible (CMS). Esta se considera como la mayor pesca que se puede hacer de esa población y que la misma es capaz de reponer. Debe observarse que desde el punto de vista económico, este punto está por encima del óptimo y que se puede hablar de sobrepesca económica.
- En el punto (E3) donde el costo total es igual al valor total de la captura se establece un equilibrio de acceso abierto (EAA), ya que antes de ese punto la pesquería en general deja ganancias y eso estimula la entrada de nuevos pescadores, mientras que después de ese punto el balance general es de pérdidas, lo que provoca la salida de un número de pescadores. De esa forma, la actividad tiende a estabilizarse de forma natural alrededor de ese punto, que como se puede observar es un punto indeseable donde existen situaciones de sobrepesca económica y biológica.

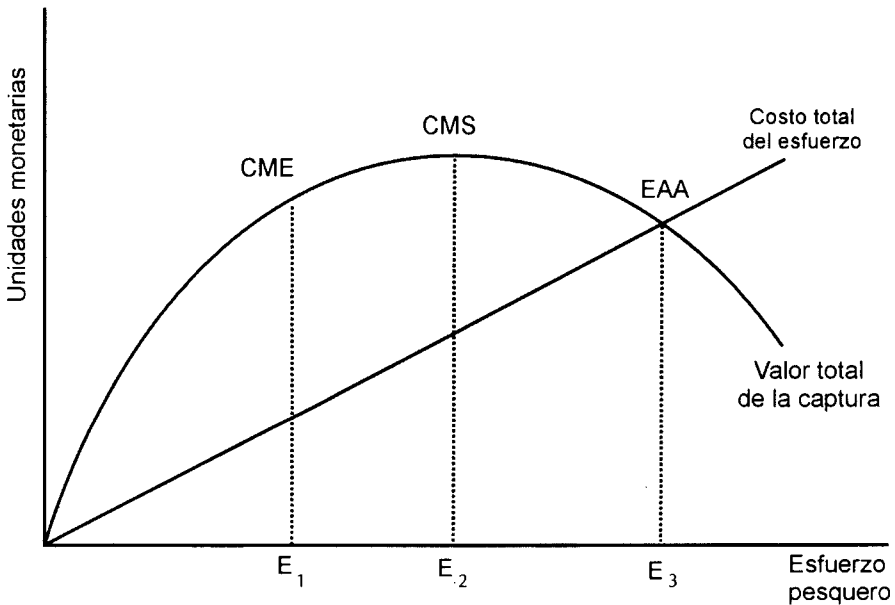


Figura 5.2. Modelo bioeconómico simplificado de una pesquería con acceso abierto (Christy, 1997)

Esta situación incontrolada hace que la pesquería tienda a atraer cantidades excesivas de capital y fuerza de trabajo (Christy, 1999; FAO, 1992; García *et al.*, 1999). Esto conlleva generalmente a que se alcance una situación de equilibrio mucho más allá de los óptimos económicos y biológicos. Un ejemplo elocuente de los efectos de este fenómeno es que en 1989, el valor calculado de toda la captura mundial era de unos 70 000 millones de dólares, mientras que los costos de operación de la flota pesquera mundial se estimaron en 124 000 millones de dólares. Estas cifras implican un déficit económico global de unos 54 000 millones de dólares en la actividad pesquera mundial (FAO, 1992). Esta situación no parece haber cambiado mucho en los últimos años y debe ser aplicable (guardando las proporciones) al caso del Gran Caribe.

c. Debilidades de los sistemas de manejo de pesquerías actuales

Según García *et al.* (1999) un sistema de manejo típico de pesquerías en la actualidad, sufre de muchas, sino de todas, las debilidades siguientes:

- Falta de suficiente investigación y de capacidad para la aplicación de las regulaciones.
- Falta de autoridad para la distribución de la riqueza.
- Incapacidad para tratar la variabilidad de la oferta o la dinámica de la demanda.
- No integración de objetivos a largo plazo.
- Ausencia de enfoque precautorio y de flexibilidad.
- Está basado predominantemente en asesoramiento biológico y mal equipado para analizar los aspectos económicos y sociales.
- Fuerte influencia de los intereses creados.
- Frecuentemente no es formalmente una responsabilidad nacional.
- Históricamente, los que tienen que ver con el manejo de las pesquerías han preferido usar los subsidios, promover la tecnología moderna y la pesca de altura en lugar de promover las soluciones requeridas para resolver los proble-

mas de ingresos domésticos, de desempleo y sociales, soluciones que son más difíciles desde el punto de vista político.

- Los asesores científicos describieron el problema de la sobrepesca, lo estudiaron y modelaron por poblaciones y áreas, y desarrollaron una interfase institucional sofisticada con los sistemas nacionales e internacionales de manejo. Ellos fallaron, sin embargo, en el reconocimiento de las limitaciones de sus enfoques, subestimaron el impacto de la incertidumbre, subutilizaron las ciencias sociales y económicas. También han sido sobrepasados frecuentemente por el desarrollo tecnológico.

Según el modelo bioeconómico que se explicó anteriormente, la única forma de lograr que una pesquería sobreexplotada se mueva hacia una situación que sea eficiente económicamente en el largo plazo es reduciendo el esfuerzo pesquero, lo que equivale en la práctica a reducir el número de pescadores. Este es el dilema esencial que se enfrenta en la regulación seria de una pesquería sobre-explotada (FAO, 1992). En la práctica, sin embargo, es frecuente que el problema social generado por el fenómeno de sobrepesca se trate de resolver, por ejemplo, subsidiando los precios de los productos pesqueros o de los combustibles. En ambos casos se logra un beneficio inmediato para cada pescador, que a la larga se disipa, permitiendo entonces que haya más pescadores en la actividad, pero todos en mala condición desde el punto de vista económico. Las consecuencias son muy graves para los recursos vivos implicados, pues estas medidas llevan a que la población ya sobre-explotada pase a un estado aún más crítico y alejado de los óptimos económicos y biológicos (Figura 5.3).

Para resolver en la práctica el problema de reducir el esfuerzo pesquero han sido propuestos varios mecanismos (Christy, 1999; García *et al.*, 1999). En esencia son:

- Mecanismos basados en limitación por licencias. Estos limitan esencialmente las “entradas” (esfuerzo pesquero), reduciendo la cantidad de capital y trabajo en una pesquería hasta el punto en que los costos totales crean un beneficio máximo (en términos sociales y económicos).
- Mecanismos basados en la limitación de las capturas. Estos limitan esencialmente las “salidas” (capturas) y solo de forma indirecta las “entradas”. En estos sistemas, se define una Captura Total Permisible (CTP; en inglés TAC, de “Total Allowable Catch”) mediante la investigación y esta se reparte entre los pesca-

dores en forma de Cuotas Individuales Transferibles (CIT; en inglés ITQ, de "Individual Transferable Quotas").

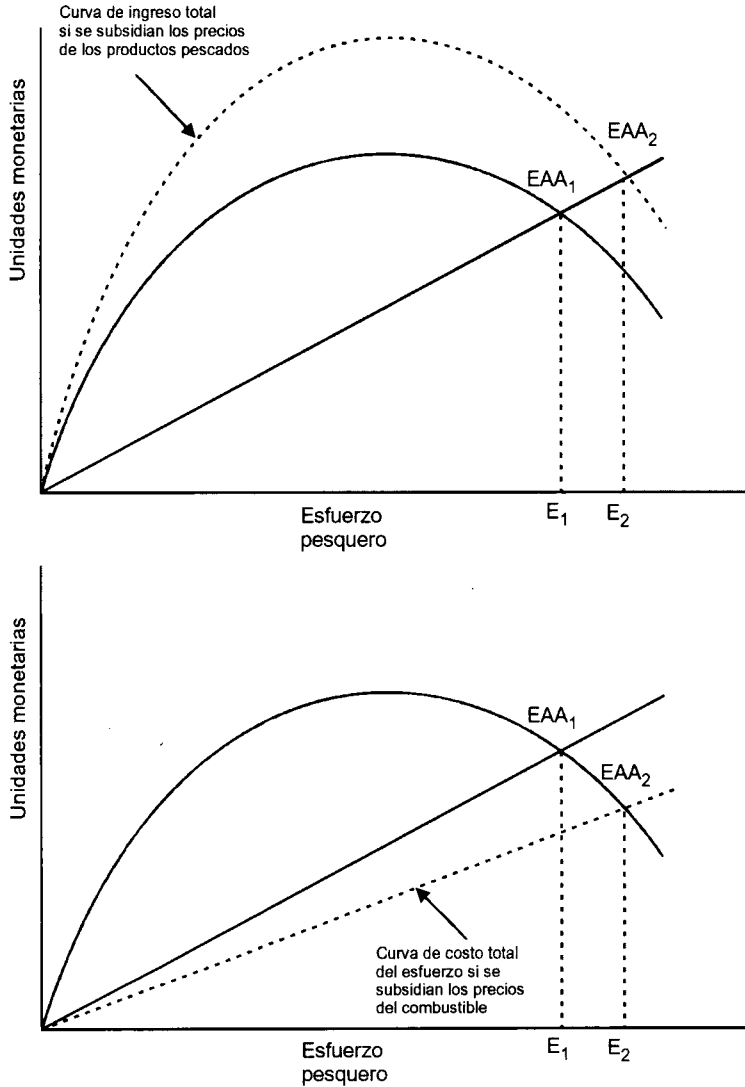


Figura 5.3. Efectos de los subsidios en pesquerías con acceso abierto. Tanto una subida del precio de los productos pescados (arriba) como una disminución en el precio de los combustibles (abajo) provocan un nuevo punto de equilibrio (EEA2) a valores mayores de esfuerzo pesquero (E_2) que está mas a la derecha del punto de equilibrio original

En los países subdesarrollados, sin embargo, existen muchas situaciones donde estos sistemas no resultan prácticos. Esto ocurre donde hay pesquerías artesanales que se basan en muchas embarcaciones pequeñas, numerosas especies y un número grande de sitios de desembarque con pocos volúmenes de captura en cada uno. En tales situaciones se ha sugerido un tercer sistema basado en asignar derechos exclusivos de explotación pesquera por medio del establecimiento de derechos de usos territoriales exclusivo en las pesquerías (en inglés TURF, de "exclusive Territorial Use Right in Fisheries").

Un enfoque complementario es la creación de reservas marinas de pesca (Bonhsack y Ault, 1996). En tales áreas la pesca es completamente prohibida y las mismas pueden servir entonces como un reservorio para la reproducción y el incremento de la biomasa.

El reconocimiento de que los peces de arrecife tienen en su inmensa mayoría fases larvales pelágicas que pueden durar entre 10 y 100 días (según la especie) y ser trasladadas pasivamente por las corrientes a distancias bastante lejanas o ser retenidas en determinadas zonas ha hecho cambiar radicalmente la visión que se tenía de las comunidades de peces de los arrecifes como sistemas en equilibrio y estables. El punto de vista moderno es que las subpoblaciones locales de peces reciben su reclutamiento (entrada de nuevos juveniles) desde las poblaciones de larvas pelágicas que se desarrollan en mar abierto y que son sostenidas en lo esencial por una comunidad de adultos mucho más extensa que se desarrolla también en otros muchos sitios de la región. Así, el reclutamiento local de cada especie es bien independiente del éxito reproductivo local de esas especies y depende más bien del éxito reproductivo en otros sitios, algunas veces bien alejados (Sale, 1991). Si se establecen zonas donde los reproductores no se ven afectados, entonces las mismas podrían abastecer de nuevos reclutas a otras áreas.

Por otra parte, desde las áreas cerradas a la pesca se debe producir un "derrame" de biomasa hacia las zonas no protegidas. Esto se debe a que el segmento protegido tiene mayor éxito de supervivencia y al crecer sobrepasa la capacidad de carga local del arrecife, debiendo emigrar hacia otras áreas cercanas.

5.2 Control de la contaminación

El reconocimiento de que la contaminación de origen terrestre es una de las principales causas del deterioro de los ecosistemas marinos costeros en la región del Gran Caribe ha llevado al desarrollo de una comprensión generalizada en la región de la necesidad de buscar soluciones a este problema. Tal vez la máxima expresión de la voluntad política regional en ese sentido es el “Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del convenio para la protección y el desarrollo del medio marino de la región del Gran Caribe” adoptado finalmente en Aruba en octubre de 1999 (UNEP, 1999). En la práctica, sin embargo, el establecimiento de medidas para mitigar la contaminación de origen terrestre ha tropezado con enormes dificultades, derivadas principalmente de los serios problemas económicos de la región.

Entre las principales dificultades que confronta la región del Gran Caribe para el control de la contaminación terrestre sobre los sistemas costeros han sido identificadas las siguientes (UNEP, 1989):

- Poco soporte político del grueso de la población
- Presupuestos inadecuados para las agencias ambientales
- Falta de personal entrenado y de equipamiento
- Incertidumbre sobre lo apropiado de los estándares que deben ser adoptados
- Los sistemas judiciales no apoyan las políticas y programas ambientales
- Reticencia en muchos Estados y territorios a la confrontación con intereses económicos poderosos

Una mención especial merece la falta de información adecuada y de estudios que tengan una base científica confiable. Rawlings *et al.* (1998) mencionan, entre otros, los siguientes problemas:

- No se conoce el aporte relativo de fósforo y nitrógeno que hacen la agricultura, los albañales y las aguas superficiales y subterráneas. Esto sería decisivo, por ejemplo, para fundamentar alguna regulación en el uso de fertilizantes.

- El balance general para el almacenamiento y transporte del fósforo desde las fuentes agrícolas hasta los ríos y estanques semiestuarinos y de ahí a los sumideros en los manglares y los sedimentos marinos no se ha evaluado cuantitativamente.
- Existe una carencia de datos de línea base para la concentración de pesticidas en el agua y los sedimentos.
- No existen datos sobre el transporte y destino de los pesticidas desde las fuentes a los sumideros en la zona costera, aunque se considera que estos procesos deben estar fuertemente ligados al destino de la materia orgánica y los sedimentos en suspensión.

La mayoría de los países de la región han adoptado algún tipo de legislación encaminada a controlar distintos aspectos de la contaminación de origen doméstico e industrial. El grado de aplicación de esos instrumentos legales varía de un país a otro notablemente y en muchos casos la legislación no es puesta en vigor de forma efectiva, entre otras causas por falta de una infraestructura de vigilancia, control y penalización adecuada (UNEP, 1994b).

Algunos países de la región, sin embargo, están tomando algunas medidas efectivas para combatir la contaminación. Estas se resumen como sigue (UNEP, 1994b):

a) Inversiones gubernamentales

Un buen ejemplo es el caso de Cuba. En nuestro país se han realizado acciones específicas para la reducción de las cargas contaminantes de petróleo y grasas a la bahía de la Habana, estableciendo un programa para el control de fuentes puntuales y no puntuales. También se desarrolló un programa para la recolección de aceites lubricantes usados en las estaciones de mantenimiento del transporte automotriz y su reutilización. Anteriormente estos hidrocarburos se vertían al sistema de alcantarillado e iban a parar a la bahía. A nivel nacional, se han desarrollado también importantes acciones, entre las que se puede citar la construcción de 2000 lagunas de oxidación para el tratamiento de residuales domésticos de pequeñas comunidades y desechos orgánicos industriales (UNEP, 1994b).

b) Asistencia financiera internacional

Algunos Estados de la región, principalmente islas pequeñas, han recibido este tipo de ayuda a través de organismos internacionales (p.e. Banco Interamericano de Desarrollo). Un ejemplo típico son los préstamos recibidos por Barbados para el mejoramiento del sistema de alcantarillado de la ciudad de Bridgetown y para el tratamiento de aguas residuales generadas por hoteles y poblaciones en el sur de la isla. Otros casos existen en Costa Rica, donde se recibió ayuda financiera para el restablecimiento del sistema de alcantarillado de Limón, destruido por un terremoto y en Trinidad-Tobago, que ha logrado negociar un préstamo para el mejoramiento de una refinería de petróleo (UNEP, 1994b).

c) Impuestos sobre servicios y contaminación

El desarrollo de sistemas nacionales de financiamiento para el control de la contaminación ha sido una opción adoptada por varios países de la región. Se cita el ejemplo de las Antillas Holandesas (Curazao, Bonaire, Saba, St. Eustatious y St. Maarten), donde se está estructurando un sistema de impuestos para financiar la plantas de tratamiento de aguas negras (UNEP, 1994b).

d) Aplicación de leyes y regulaciones nacionales

Esta estrategia es aplicada principalmente en los Estados Unidos, donde el control de las fuentes terrestres de contaminación se ejerce mediante la emisión de licencias individuales, llamadas también "permisos", para cada fuente puntual de descarga, ya sea doméstica o industrial. En las licencias se define la limitación en cantidad y calidad de los desechos permitidos. El cumplimiento de estas limitaciones se comprueba siempre antes de renovar los permisos. El control de las fuentes no puntuales está recogido en el Acta para el manejo de la zona Costera de 1972. A partir del año fiscal de 1996, los estados deben remitir un programa aceptable para el control de fuentes no puntuales que afecten las costas. Si se incumple con este requisito, el estado incumplidor puede ser multado con una reducción en los fondos federales para los problemas de contaminación (UNEP, 1994b).

El breve resumen anterior permite comprobar claramente que el control de las fuentes de contaminación marina y costera de origen terrestre es básicamente una

cuestión económica, aunque el desarrollo de una conciencia con respecto al problema puede jugar un papel modulador muy importante.

5.3 Turismo sostenible

El turismo en el Gran Caribe depende en gran medida de la base de recursos naturales. El enfoque de mercado tradicional ofreciendo “arena, mar y sol” ha creado una mentalidad generalizada cuya consecuencia principal es la concentración de las instalaciones turísticas en las áreas costeras (UNEP, 1997). Como es de suponer, el impacto del turismo sobre la biodiversidad marina y costera es de los más importantes, al menos potencialmente. Un inventario detallado de todos los impactos reales y potenciales trasciende el propósito del presente análisis, por lo que se hará énfasis en las actividades de mayor incidencia.

Un informe reciente del PNUMA, basándose en la escala de los impactos, su frecuencia (esporádicos contra crónicos), el significado de los vínculos con los ecosistemas y el costo (pérdida de ingresos o costos de rehabilitación) que esos impactos producen, ha determinado las actividades más dañinas relacionadas con el turismo. Estas son (UNEP, 1997):

- Cambio o daño físico de los hábitats
- Vertimiento de aguas de albañal
- Depósito de desechos sólidos

La región del Gran Caribe ha experimentado un crecimiento sostenido del turismo durante las dos últimas décadas, pasando de ingresos totales de 3 500 millones de USD en 1980 a 12 700 millones de USD en 1995. Los estimados de las salidas brutas en viajes y turismo para el Caribe en 1996 hechos por el World Travel and Tourism Council fijaban el total en 25 400 millones de USD (25.5 % del PIB) y empleo para 2.37 millones de personas (22% del empleo total). El crecimiento proyectado para el turismo en la región en la próxima década se ha estimado en 34.6 % (WTTC, 1996 cit. por UNEP, 1997). Estas cifras indican que el impacto de la actividad en su conjunto es grande, con tendencia a ser mayor. Varios autores han afirmado que los presentes enfoques del desarrollo turístico no son sostenibles (McElroy and

Albuquerque, 1991; Aniyar, 1994; IRF, 1996a cit. por UNEP, 1997). Si la actividad degrada el ambiente, esta puede ser una causa primaria de su propia declinación. Por ese motivo, es imprescindible comenzar a utilizar mejor prácticas de manejo y desarrollo en la industria turística en el Gran Caribe.

Las mejores prácticas de manejo de la industria turística deben ser tomadas en dos áreas complementarias, las cuales se describen resumidamente a continuación (UNEP, 1997):

a. Un sistema de manejo integrado y participativo para evaluar y regular el diseño, la construcción y la operación de instalaciones.

b. Actividades específicas a desarrollar en cada sitio, con el propósito de reducir los impactos sobre el ambiente circundante.

El manejo integrado de la zona costera será objeto de una presentación más detallada en el capítulo siguiente. Aquí se presentará solamente una selección que incluye algunas de las indicaciones específicas recomendadas que de forma directa contribuyen a disminuir el impacto del turismo sobre la biodiversidad marina y costera. Entre estas indicaciones se pueden citar (UNEP, 1997):

a) En la selección de sitios y el diseño de las construcciones

- Que los diseños permitan mitigar el impacto de los desastres naturales y a la vez no interrumpan los procesos ecológicos.
- Proteger los hábitats valiosos (áreas de anidamiento de aves y tortugas, áreas de crianza para las pesquerías, etc.) y evitar la perturbación de los rituales de apareo y de anidamiento de algunas especies.
- Evitar la descarga directa de drenajes, carreteras y áreas de parqueo a los cuerpos de agua.
- Diseñar las carreteras para que ayuden a reducir el arrastre de sedimentos desde el sitio.

- Diseñar el sistema de aguas de desecho para que permita la separación del agua gris de los albañales y proveer estos últimos con un sistema de tratamiento y vertido adecuados para evitar la contaminación del agua subterránea.

b) Construcción

- Utilizar los métodos de evaluación del impacto ambiental para identificar impactos, medidas de mitigación, y controles ambientales durante la preparación del sitio y la construcción.
- Utilizar pantallas de turbidez para proteger áreas sensibles (p.e. arrecifes) durante los trabajos en el mar.
- Minimizar el movimiento de vehículos en las playas.
- Evitar el corte de la vegetación natural en los sitios y donde se haga posible, reutilizar las plantas indígenas para los fines de ornamentación.

c) Manejo de los desechos

- Reducir el número de envases, comprando los suministros – especialmente líquidos - al por mayor, donde sea posible. Cambiar de proveedor si es necesario.
- Utilizar el servicio dispensado para los fluidos.
- Eliminar al máximo las envolturas.
- Eliminar el uso de platos, utensilios y vasos desechables.
- Reciclar el papel. Usar servilletas de tela en lugar de las de papel.
- Comprar productos reciclables.
- Clasificar la basura previo a la incineración donde ello sea posible.
- Eliminar el uso de detergentes que contengan fosfatos.
- Usar las aguas grises y las aguas negras tratadas para irrigación.

d) Recreación

- Entrenar a los administradores para que comprendan el impacto de las distintas actividades recreativas sobre los ecosistemas marinos y costeros.
- No remover la vegetación de las dunas o de los pastizales marinos.
- No fondear (utilizar anclas) en los arrecifes. Se deben colocar sistemas de amarre y otras estructura que permitan crear un daño mínimo y prevenir la obstrucción de los procesos costeros.
- No vaciar las sentinas de los barcos o descargar las aguas negras en el mar.

El ecoturismo es una vertiente importante del turismo que ha venido ganando importancia en los últimos años. Una definición que se ha considerado apta y de rigor, es la propuesta por la Corporación de Turismo de Venezuela (UNEP, 1994a). Esta definición dice: "el ecoturismo contempla actividades de baja densidad y bajo impacto en áreas naturales de interés biológico, cultural y geográfico suficientes para atraer turistas".

Al analizar las estrategias para lograr un ecoturismo que sea realmente sostenible, se han considerado varias premisas que se pueden resumir como sigue (UNEP, 1994a):

- Planeado o no, el ecoturismo es una actividad que ya se está desarrollando en la región del Gran Caribe.
- El ecoturismo por sí mismo no va a proteger los ecosistemas involucrados. De hecho, una actividad mal concebida podría agravar los problemas ambientales. La expansión de esta forma alternativa de turismo ya está ejerciendo presión sobre los ecosistemas naturales.
- En la mayor parte de la región el sector privado es el verdadero catalizador del desarrollo turístico.
- El gobierno es el único que puede representar a largo plazo los intereses de la sociedad y por ello debe jugar un rol importante. Los recursos ambientales son generalmente propiedad pública.

Partiendo de esas premisas y de otros factores, han sido formuladas estrategias para el desarrollo adecuado del ecoturismo en la región del Gran Caribe. Estas se enumeran a continuación (UNEP, 1994a):

- Regulación del uso de las áreas protegidas. El problema principal es determinar cuales pueden ser utilizadas y cuales no. En las que se decida un uso, debe calcularse la capacidad de carga, pues el problema principal del ecoturismo es un exceso de visitantes.
- Deben establecerse cuotas a pagar por las visitas a las áreas protegidas. Los fondos así obtenidos deben servir para financiar el manejo de las áreas involucradas.
- Involucrar más al sector privado en el manejo de las áreas protegidas que se usarán para turismo. Las organizaciones no gubernamentales pueden tomar la responsabilidad total en ese sentido y ya existen experiencias en la región (Costa Rica, Antillas Holandesas, República Dominicana, etc.). En aquellos casos en que el manejo está en manos del Estado, algunos servicios se pueden conceder a empresas privadas (cafeterías, transporte interno, deportes náuticos, etc.).
- Identificar zonas que actualmente no están protegidas y que podrían ser un recurso potencial para el desarrollo de formas alternativas de turismo. El ecoturismo podría ser una buena justificación para proteger áreas donde la biodiversidad está actualmente amenazada o los ambientes costeros degradados.
- Entrenamiento del personal. Se plantea como muy conveniente que los sectores que explotan el turismo comprendan bien el valor de la biodiversidad y otros aspectos de la naturaleza, así como las regulaciones vigentes para su protección. Por otra parte, los que administran las áreas protegidas y las organizaciones ambientalistas, deben familiarizarse con la industria y el mercado del turismo.
- Regular la actividad de ecoturismo como parte de las regulaciones generales, incluyendo auditorías, estudios de impacto ambiental, y cumplimiento de las leyes y disposiciones para la protección del ambiente.

5.4 Áreas marinas protegidas

A mediados de 1994 existían 1307 áreas protegidas en el Gran Caribe. Cerca del 25 % de estas áreas incluyen zonas costeras y marinas, principalmente en los estados insulares. Estas áreas incluyen las 8 categorías de la IUCN, así como las categorías internacionales de reserva de biosfera, sitios de patrimonio de la humanidad y sitios Ramsar. Aunque las áreas protegidas del Caribe incluyen solo el 3% de la superficie total de las que existen en América Latina y el Gran Caribe, ellas contemplan el 21 % del total de áreas protegidas en la región y responden por el 39 % de todas las que tienen zonas costeras y marinas (UNEP, 1996b).

Lineamientos y criterios comunes para la identificación, la selección, el establecimiento y el manejo de áreas protegidas en el Gran Caribe han sido establecidos por el programa regional sobre áreas protegidas y vida silvestre (SPAW) del Programa Ambiental del Caribe. Este programa es la instrumentación práctica del protocolo correspondiente de la Convención de Cartagena, firmado en 1990 en Kingston, Jamaica. Según UNEP (1996b), el problema principal de la región es la contradicción que existe entre una falta de experiencia a nivel institucional e individual y los retos extremadamente complejos que se presentan en los aspectos ecológicos, económicos y sociales. La fuente citada plantea que una comparación que ilustra el problema es que Estados Unidos ha tenido más de 100 años para desarrollar instituciones, políticas, investigaciones, y formas de manejo, y aún hoy presenta serios problemas con la protección de las áreas naturales identificadas para ese propósito. El resto del Gran Caribe ha tenido solo un grupo de áreas bajo manejo por no más de 10 años. Con referencia a las áreas marinas protegidas, 18 de ellas fueron consideradas completamente protegidas en Florida, mientras que solo el 15% de las 95 identificadas en el resto del Gran Caribe alcanzaron ese nivel. Al analizar la situación en la región tropical de las Américas, Jameson *et al.* (1995) afirman que el nivel de protección en muchas áreas marinas protegidas es mínima debido a la falta de financiamiento, información para el manejo, sistemas de regulación no efectivos, falta de educación pública, inadecuada vigilancia y penalización y monitoreo e investigación mínimos.

Las áreas marinas protegidas ofrecen una amplia gama de usos y valores entre los que se pueden citar los siguientes (según UNEP, 1996b. Los números indican la cantidad de áreas donde ese uso o valor se identificó explícitamente):

- Hábitat para la vida silvestre (78)
- Valores recreacionales (68)
- Ingreso por pesquerías (54)
- Actividades de investigación (53)
- Protección de especies amenazadas (16)

Estos usos y valores se superponen con mucha frecuencia y pueden entrar en conflicto si no se les maneja de forma apropiada. Se ha considerado que el impacto de los asentamientos humanos, la sobrepesca y la caza, y la contaminación son los tres problemas principales que enfrentan las áreas marinas protegidas en el Gran Caribe. Otros problemas incluyen el turismo y el daño físico a los arrecifes de coral, la basura sólida, la sedimentación y el exceso de nutrientes (UNEP, 1996b).

No abundan los estudios serios sobre áreas marinas protegidas y su manejo en el Gran Caribe. Excepciones notables son los trabajos de Dixon *et al.* (1993) en el Parque Marino de Bonaire y de Grip (1993) en el Parque Nacional de Corales de Rosario, en Colombia. En conjunto, estos trabajos permiten elaborar un grupo de conclusiones y recomendaciones que podrían ser aplicables a otras zonas de la región. Estas se resumen a continuación (extractado de UNEP, 1996b):

- Los parques marinos pueden proteger la biodiversidad y permitir un uso no basado en el consumo, cuando el planeamiento y control del manejo son efectivos.
- El daño a gran escala está precedido usualmente por degradación localizada en los sitios utilizados con más intensidad. Esto puede constituir un indicador de alerta apropiado.
- El uso de cuotas y la intervención de todos los interesados en su definición, así como un tratamiento diferencial a extranjeros y nacionales puede ser un mecanismo muy útil para el financiamiento de las actividades de conservación.

- El mejoramiento en el entrenamiento de los buzos turistas y el uso racional de los sitios de buceo podría permitir un incremento significativo de la capacidad de carga de los arrecifes.

5.5 Manejo integrado de la zona costera

En el nivel regional y local de las áreas costeras y marinas bajo jurisdicción nacional, el Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC) es visto como el único mecanismo viable para garantizar de forma efectiva la conservación de los ambientes marinos y la biodiversidad mientras que se optimiza simultáneamente el desarrollo económico y social (UNEP, 1996b; Pullen, 1997).

El concepto de MIZC ganó una dimensión internacional cuando fue incluido como un aspecto prioritario en la Agenda 21, documento estratégico emitido por la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (UNCED, 1992). Muchas han sido las definiciones que se han propuesto para el MIZC. Las más aceptadas, sin embargo, coinciden en definir al MIZC como un proceso dinámico y evolutivo mediante el cual se asignan los usos y recursos de la zona costera de forma que se minimizan los conflictos entre usos y usuarios a la vez que se permite la participación amplia en el proceso de toma de decisiones de todos los interesados a nivel nacional y local.

Lo más importante en relación con el MIZC es el reconocimiento de que muchos de los problemas ambientales que existen en los hábitats marinos provienen de tierra y que la mayoría de los problemas tienen carácter multisectorial debido a que en un mismo espacio concurren muchos intereses distintos (por ejemplo: concurrencia de turismo náutico, pesquerías, extracción de petróleo, especies amenazadas y navegación en una misma zona, a lo que se puede añadir el vertimiento de residuales urbanos y de origen industrial). La mayor parte de los problemas costeros requiere un análisis y una solución que tienen carácter multidisciplinario con aspectos ecológicos, económicos, sociales y legales, los cuales se interrelacionan de forma compleja.

Cuando se trata de ecosistemas marinos costeros, es importante tener en cuenta que estos deben quedar definidos dentro de "una unidad completa e integrada que incluya una o varias cuencas hidrográficas costeras y las tierras adyacentes a la costa

hasta donde tengan una influencia significativa sobre las aguas costeras “ (UNEP, 1996a).

Por último, es importante comprender que el MIZC es un proceso dentro del cual la conservación de la biodiversidad juega un papel importante pero que no es único. Precisamente la conjunción de metas conservacionistas con metas que conllevan a un bienestar de las comunidades costeras mediante el uso sostenible de los recursos naturales y un desarrollo racional de la actividad industrial es el objetivo principal del MIZC en busca de un verdadero desarrollo sostenible (desde el punto de vista ecológico y económico) en las zonas costeras.

6. Bibliografía

- Altieri, M.A. (1991) Sustainable agricultural development in Latin America: Exploring the possibilities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 39 (1-2): 1-21. (citado en UNEP, 1998 b)
- Angel, M.V. (1993) Biodiversity of the pelagic ocean. *Conserv. Biol.* 7: 760-772 (cit. por GESAMP, 1997)
- Aniyar, S. (1994) A University Course Module on Resource Systems and Economic Development – St. Thomas Case. Consortium of Caribbean Universities for Natural Resource Management, St. Thomas (citado por UNEP, 1997).
- Atwood, D.K.; F.J. Burton; J.E. Corredor; G.R. Harvey; A.J. Mata Jiménez; A.V. Botello y B.A. Wade (1987) Petroleum pollution in the Caribbean. *Oceanus* 30(4): 25-32.
- Baisre, J. (1993) Part 4. Cuba, p. 181-235. In: FAO (ed.) *Marine fisheries resources of the Antilles: Lesser Antilles, Puerto Rico and Hispaniola, Jamaica, Cuba*. FAO Fish. Tech. Pap. 326: v+235 p.
- Barnes, R.S.K. y R.N. Hughes (1988) *An introduction to Marine Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Londres, x + 351 p.
- Boaden, P.J.S. y R. Seed (1985) *An introduction to coastal ecology*. Blackie, Glasgow, 219 p.
- Bohnsack, J.A. y J.S. Ault (1996) Management strategies to conserve marine biodiversity. *Oceanography* 9(1): 73-82.
- Botero, L.. (1990) Massive mangrove mortality on the Caribbean coast of Colombia. *Vida Silvestre Neotropical* 2: 77-78.
- Briggs, J.C. (1974) *Marine zoogeography*. McGraw-Hill, New York, 475 p.
- Britton, J.C. y B. Morton (1989) *Shore ecology of the Gulf of Mexico*. University of Texas Press, Austin, 387 p.

- Caddy, J.F. (1991) Zoogeographical categories relevant to fishery management areas and stock delineation in the WECAFC region. *FAO Fish. Rep.* 431 suppl.: 165-171.
- Carranza, J. y M.C. Rodríguez de la Cruz (1991) Zonas ecológicas y unidades de población. *FAO Fish. Rep.* 431 suppl.: 218-243.
- CENBIO (1998) Estudio nacional sobre la diversidad biológica en la República de Cuba. Centro Nacional de Biodiversidad (CENBIO) del Instituto de Ecología y Sistemática del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba. CESYTA, Madrid, xxv + 480 p.
- CEPAL (2000) La brecha de la equidad: Una segunda evaluación. Documento de la segunda conferencia regional de seguimiento de La cumbre mundial sobre desarrollo social, Santiago de Chile, 15 al 17 de mayo de 2000
- Cervigón, F.; R. Cipriani; W. Fischer; L. Garibaldi; M. Hendrickx; A.J. Lemus; R. Márquez; J.M. Poutiers; G. Robaina y B. Rodríguez (1992) Guía de Campo de las Especies Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional de Sur America. FAO, Roma, xvi + 513 p.
- Christy, F.T. (1997) The development and management of marine fisheries in Latin America and the Caribbean. Informe Técnico del BID, ENV-110, 78 p.
- Cintrón, G.; A.E. Lugo; D.J. Pool y G. Morris (1978) Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica* 10: 110-121.
- Cintrón, G. y Y. Schaffer-Novelli (1983) Introducción a la Ecología del Manglar. ROS-TLAC-UNESCO, Montevideo, 109 p.
- Claro, R.; J.P. García-Arteaga; E. Valdés-Muñoz y L.M. Sierra (1990) Alteraciones de las comunidades de peces en el Golfo de Batabanó, en relación con la explotación pesquera, p. 50-66. En: Claro, R, (ed.) Asociaciones de peces en el Golfo de Batabanó, Editorial Academia, La Habana, 128 p.
- Corredor, J.E. y J.M. Morell (1994) Nitrate depuration of secondary sewage effluents in mangrove sediments. *Estuaries* 17(18): 295-300.

- Dixon, J.; L.F. Scura y T. van Hoff (1993) Meeting ecological and economic goals: Marine Parks in the Caribbean. *AMBIO*, 22(2-3): 117-125.
- Fairbridge, R.W. (ed.) (1966) *The Encyclopedia of Oceanography*. Reinhold Publ. Corp., Nex York, xiii + 1021.
- FAO (1992) Marine fisheries and the law of the sea: A decade of change. Special chapter (revised) of *The State of Food and Agriculture 1992*. FAO Fish. Circ. 853: 66 p.
- FAO (1997a) Review of the state of world fishery resources: marine fisheries. FAO Fish. Circ. 920: v+173 p.
- FAO (1997b) FAOSTAT agriculture statistics data base. FAO, Roma, Italia.
- Fisher, W (ed.) (1978) FAO species identification sheets for fishery purposes, Western Central Atlantic (fishing area 31), Vols I-VII, FAO, Rome.
- García, S.M.; K. Cochrane; G. van Santen y F. Christy (1999) Towards sustainable fisheries: a strategy for FAO and the World Bank. *Ocean and Coastal Management* 42: 369-398.
- GESAMP(IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection) (1997) Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. Rep. Stu. GESAMP 62: 24 p.
- Goenaga, C. (1988) The state of coral reefs in the Wider Caribbean. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 27(1-2): 25-36.
- González-Sansón, G. y C. Aguilar (1984) Ecología de las lagunas costeras de la región suroriental de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 5(1): 127 – 171
- Grassle, J.F. (1991) Deep-sea benthic biodiversity. *Bioscience* 41: 464-9.
- Grip, K.. (1993) Corales del Rosario National Park, Colombia. Updating and revision of the existing master plan. UNEP-CEP, 30 pp.
- Haines, E. (1979) Interactions between Georgia salt marshes and coastal waters: A changing paradigm, p. 35-6. En: R. Livingston (ed.). *Ecological Processes in coastal and marine ecosystems*. Plenum, New York.

- Haines, E. y C. Montague (1979) Food sources of estuarine invertebrates analyzed using $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios. *Ecology* 60:48-56.
- Hamilton, L.S. y S.C. Snedaker (eds.) (1984) Handbook for mangrove area management. UNEP and East-West Center, Environment and Policy Institute, xii+123 p.
- Hatcher, B.G.; R.E. Johannes y A.I. Robertson (1989) Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 27: 337-414.
- Herbland, A. y B. Vouturiez (1979) Hydrological structure analysis for estimating the primary production in the Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.* 37: 87-101.
- Heywood, V.H. y R.T. Watson (eds.) (1995) Global biodiversity assessment. Cambridge U.P., Cambridge, U.K., 1140 p. (cit. en GESAMP, 1997).
- Hoagland, P., M.E. Schumacher, and A.G. Gaines, Jr. (1995) Toward an Effective Protocol on Land-Based Marine Pollution in the Wider Caribbean Region. Technical Report No. WHOI-95-10. Marine Policy Center, Woods Hole Oceanographic Institute, Woods Hole, Massachusetts. (cit. en UNEP, 1998 b)
- Hughes, T.P. (1994) Catastrophes, phase shifts, and large scale degradation of a caribbean coral reef. *Science* 265: 1547-1551.
- ICGC (1978) Atlas de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana.
- ICCAT (1998) Standing Committee on Research and Statistics. Report of Meeting held in Madrid, Spain, October 19 - 23, 1998. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Spain.
- IRF (1996a). Tourism and Coastal Resources Degradation in the Wider Caribbean (Unpublished Draft). Preparado por Island Resources Foundation para UNEP-CAR/RCU. (cit. en UNEP, 1997).
- Jameson, S.C.; J.W. McManus y M.D. Spalding (1995) State of the reefs. Regional and global perspectives. Background Paper of the International Coral Reef Initiative Executive Secretariat.

- Jernelov, A. y O. Linden (1981) Ixtoc: A case study of the world's largest oil spill. *Ambio* 10(6): 229-306.
- Latin American and Caribbean Commission on Development and Environment (LACCDE). (1990) *Our Own Agenda*. United Nations Development Programme. (cit. en UNEP, 1998 b)
- Lapointe, B. E., M. M. Littler, and D. S. Littler (1997) Macroalgal overgrowth of fringing coral reefs at Discovery Bay, Jamaica: bottom-up versus top-down control, p. 927-932. In: H.A. Lessios, I.G. MacIntyre et al. (eds.). *Proceedings of the Eighth International Coral Reefs Symposium, Panama, 24-29 June 1996*. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama City, Panamá.
- Lemay, M.H. (1998) Manejo de los recursos costeros y marinos en América Latina y el Caribe. Informe Técnico del BID, ENV-128, 66 p.
- Lewis, J.B. (1981) Coral reef ecosystems, p. 127-158. In: A.R. Longhurst (ed.) *Analysis of marine ecosystems*, Academic Press, Londres, xxii+741 p.
- Limburg, K.E. y C. Folke (1999) The ecology of ecosystems services: introduction to the special issue. *Ecological Economics* 29: 179-182.
- Longhurst, A.R. y D. Pauly (1987) *Ecology of tropical oceans*. Academic Press, San Diego, xi + 407 p.
- Lugo, A.E. y S.C. Snedaker (1974) The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 39-64.
- McElroy, J. and K. Albuquerque (1991) "Tourism Styles and Policy Responses in the Open Economy – Closed Environment Context", in N. Girvan & D. Simmons (Eds.), *Caribbean Ecology and Economics*. Caribbean Conservation Association, Barbados.
- McIvor, C.C.; J.J. Ley y R.D. Bjork (1994) Changes in freshwater inflow from the Everglades to Florida bay including effects on biota and biotic processes: A review, pp.117. In: S.M. Davis y J.C. Ogden (eds.), *Everglades – The ecosystem and its restoration*. St. Lucie Press, Delray Beach, Fla.

- Mann, K.H. (1988) Production and use of detritus in various freshwater, estuarine, and coastal marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 33(4, part 2): 910-930.
- Mann, K.H. y J.R.N. Lazier (1991) *Dynamics of marine ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Boston, xi + 466 p.
- Marmontel, M. (1996) *The west indian manatee in the caribbean and northern south Atlantic*. UNEP, Nairobi, 30 p.
- Márquez, R. (1990) *FAO species catalogue Vol. 11 Sea turtles of the world*. FAO Fish. Synop. 125 vol. 11: iv+81 p.
- May, R.M. (1992) Bottoms up for the oceans. *Nature* 357, 278-9 (cit. por GESAMP, 1997)
- Medley, P. (ed.). (en prensa). *Report on the Queen Conch Workshop*, Belize City, Belize, March 1999.
- Moberg, F. y C. Folke (1999) Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics* 29: 215-233
- Norberg, J. (1999) Linking nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. *Ecological economics* 29: 183-202.
- Norse, E.A. (ed.) (1993) *Global marine biological diversity*. Island Press, Washington, 361p.
- Odum, E.P. y A.A. de la Cruz (1967) Particulate organic detritus in a Georgia salt marsh-estuarine ecosystem, 383-388. En: G.H. Lauff (ed.), *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Publication 83. Washington, D.C.
- Odum, W.E. y E.J. Heald (1975) The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. *Estuarine Research* 1: 265-286.
- Ogden, J.C. (1987) Cooperative coastal ecology at Caribbean Marine Laboratories. *Oceanus* 30(4): 9-15.
- Oyuela, O. (1994) Los manglares del Golfo de Fonseca – Honduras. En: D. Suman (ed.), *El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe*: Su

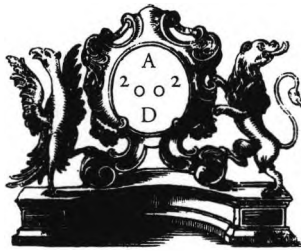
manejo y conservación. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Univ. de Miami, Florida, vi + 263 p.

- Paéz, J.; L. Font; M.Sosa y M. Morenza (1997) Las pesquerías de camarón de la plataforma cubana. In: CARICOM Fish. Res. Doc. 22.
- Peters, C.E.; N.J. Gassman; J.C. Firman; R.H. Richmond y E.A. Power (1997) Ecotoxicology of tropical marine ecosystems. *Environ. Toxicol. Chem.* 16(1): 12-40.
- PNUMA-PAC (1995) Plan de Manejo Regional para el Manatí Antillano, *Trichechus manatus*. Informe Técnico del PAC No. 35. (INTERNET: www.cep.unep.org)
- Pullen, J.S.H. (1997) Protecting marine biodiversity and integrated coastal zone management. Chapter 17, p. 394-414. In: Ormond, R.F.G.; J.D. Gage y M.V. Angel (Eds.) *Marine biodiversity. Patterns and Processes*. Cambridge University Press, Cambridge, xxii + 449.
- Rawlings, B.G.; A.J. Ferguson; P.J. Chilton; R.S. Arthurton; J.G. Rees y J.W. Baldock (1998) Review of agricultural pollution in the Caribbean with particular emphasis on small island developing states. *Marine Pollution Bulletin* 36(9): 658-668.
- Richards, W.J. y J.A. Bohnsack (1991) The Caribbean Sea: A large marine ecosystem in crisis, p. 44-53. In: K. Sherman, L.M. Alexander y B.D. Gold (eds.) *Large Marine Ecosystems. Patterns, Processes and Yields*. AAAS Press, Washington, D.C.
- Rogers, C.S. (1993) Hurricanes and coral reefs: the intermediate disturbance hypothesis revisited. *Coral Reefs* 12: 127-137.
- Rönnbäck, P. (1999) The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems. *Ecological Economics* 29: 235-252.
- Sale, P. (Ed.) (1991) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego, xviii+754.
- Sánchez, H. (1994) Los manglares de Colombia, p. 21-33. En: D. Suman (ed.), *El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: Su manejo y con-*

- servación. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Univ. de Miami, Florida, vi + 263 p.
- Siam, C. y C. García (1981) Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: III. Profundidad de inicio de la termoclina. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 6(2): 36-49.
- Snedaker, S.C. y C.D. Getter (1985) Pautas para el manejo de los recursos costeros. U.S. Agency for International Development. Serie de Información sobre Recursos Renovables, Publicación No. 2 sobre Manejo de Costas, xv + 286 p.
- Stanley, S. (1998) Marine region 7: Wider Caribbean. In Great Barrier Reef Marine Park Authority, The World Bank and The World Conservation Union (eds.) A Global Representative System of Marine Protected Areas - Volume 2, (INTERNET: www.environment.gov.au/library/pubs/mpa/07carib.html).
- Stoner, A.W. (1997) The status of Queen Conch, *Strombus gigas*, research in the Caribbean. *Mar. Fish. Rev.* 59(3): 14-22.
- Sorokin, Y.I. (1995). Coral reef ecology. Springer, Berlin, Ecological Studies vol. 102, x+465 p.
- Soulé, M.E. (1991) Conservation: Tactics for a constant crisis. *Science* 253(5021): 744-750.
- Suárez A., A. M. (1989) Fitogeografía del macrofitobentos de la plataforma de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 10(2): 103-116.
- Suman, D. (1994). Situación de los manglares en América Latina y la Cuenca del Caribe, p. 1 - 10. En: D. Suman (ed.), El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: Su manejo y conservación. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Univ. de Miami, Florida, vi + 263 p.
- Tomascik, T. (1993) Coral reef ecosystems: Environmental management guides. EMDI Environmental Reports 35: xv+79 p.
- Twilley, R.R. (1988) Coupling of mangroves to the productivity of estuarine and coastal waters. En: B.-O. Jansson (ed.) Lecture notes on coastal and estuarine studies 22. Coastal offshore ecosystem interaction, Springer-Verlag, Berlin.

- Twilley, R.R. (1998) Mangrove wetlands, p. 445-471. In M.G. Messina y W.H. Conner (eds.), *Southern Forested Wetlands, Ecology and Management*, Lewis Publ., Boca Ratón.
- UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) (1992) *Agenda 21*. New York, United Nations.
- UNEP (1989) *Regional overview of environmental problems and priorities affecting the coastal and marine resources of the wider Caribbean region*. CEP Technical Report 2. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.
- UNEP (1992) *Meeting of experts on land-based sources of marine pollution, Veracruz, México, 6-10 julio 1992. Preliminary consolidated regional overview on land-based sources of pollution*. UNEP(OCA)/CAR WG.9/3.
- UNEP (1994a) *Ecotourism in the Wider Caribbean Region –An assessment*. CEP Technical Report 31. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.
- UNEP (1994b) *Regional overview of land-based sources of pollution in the wider Caribbean region*. CEP Technical Report 33. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.
- UNEP (1996a) *Directrices para una planificación y un manejo integrados de las áreas costeras y marinas en la región del Gran Caribe*. Programa Ambiental del Caribe del PNUMA, Kingston, Jamaica, 1996.
- UNEP (1996b). *Status of protected area systems in the Wider Caribbean*. CEP Technical Report 36. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.
- UNEP (1997) *Coastal Tourism in the Wider Caribbean Region: Impacts and Best Management Practices*. CEP Technical Report 38. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.
- UNEP (1998a) *Appropriate technology for sewage pollution control in the Wider Caribbean Region* CEP Technical Report 40. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.

- UNEP (1998b) Best management practices for agricultural non-point sources of pollution. CEP Technical Report 41. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston.
- UNEP (1999) Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del convenio para la protección y el desarrollo del medio marino de la región del Gran Caribe. (INTERNET: www.unep.org)
- UNEP (2000) Marine mammals of the wider caribbean region: A review of their conservation status. UNEP(WATER)/CAR WG.22/INF.7. (INTERNET: www.unep.org)
- UNESCO (1983) Coral reefs, seagrass beds and mangroves: their interaction in the coastal zones of the Caribbean. UNESCO reports in marine science 23: 133 p.
- Walsh, G.E. (1974) Mangroves: a review, p. 51-174. En: R.J. Reimold y W.H. Queen (Ed.). Ecology of Halophytes. Academic Press, 605 p.
- WTTC (1996) Caribbean Travel and Tourism: A New Economic Perspective. (cit. en UNEP, 1997)
- WECAFC (1999) State of fishery resources in the WECAFC region. Report of the 9th Session of the Western central atlantic fisheries comission, Castries, Saint Lucia, 27-30 September 1999. (INTERNET: www.fao.org)
- Wiegert, R.G. y E. Penas-Lado (1995) Nitrogen-pulsed systems on the coast of north-west Spain. Estuaries 18(4): 622-635.
- World Resources Institute (WRI) (1992) World Resources (1992-1993) prepared in collaboration with UNEP and UNDP. Oxford University Press, New York. (cit. por Rawlings et al., 1998)



*Este libro se terminó de imprimir el día 3 de noviembre,
festividad de San Martín de Porres, Padre Dominico
y fundador del asilo de Santa Cruz para huérfanos
y limosneros, a quien se le atribuyen
muchos milagros tras su muerte.*

BIODIVERSIDAD MARINA Y DESARROLLO:

Conflictos y soluciones en el Caribe

Estos apuntes recogen, en apretada síntesis, los aspectos esenciales relacionados con las características de la biodiversidad marina en la región del Caribe y las acciones necesarias para su conservación y uso sostenible. Con carácter introductorio, se hace una presentación de los aspectos oceanográficos, geológicos y climáticos de la región. Por otra parte, se analizan brevemente los factores económicos y sociales que marcan la cuenca.

Los sistemas estuarinos, los bosques de mangle, los pastizales marinos y los arrecifes de coral son identificados y analizados como los ecosistemas marinos fundamentales de la región en la zona costera. Se hace un énfasis especial en la interacción que existe entre estos ecosistemas y la trascendencia que tiene para una concepción apropiada del manejo de los mismos. Un análisis de los servicios ecológicos que presta la biodiversidad marina cierra el aspecto relacionado con los procesos naturales.

La naturaleza del impacto humano es analizada a partir de varias categorías que se consideran las fundamentales en la cuenca. Las pesquerías y la acuicultura, el vertido al mar de las aguas negras y los residuales industriales sin tratamiento, la erosión, la destrucción de los hábitats y la disminución del escurrimiento son algunos de los aspectos que se tratan. Finalmente, se presentan un conjunto de soluciones sectoriales posibles a los problemas actuales y potenciales, pero se hace énfasis en el manejo integrado de la zona costera como vía fundamental para mitigar el conflicto del desarrollo costero con el uso sostenible y la conservación de los recursos marinos vivos.

