

BIODIVERSIDAD MARINA:

APROXIMACIÓN CON REFERENCIA AL CARIBE¹

Por: Germán Márquez², Profesor Asociado Departamento de Biología - Facultad de Ciencias e Instituto de Estudios Ambientales IDEA

RESUMEN

El mar, origen de la vida, es depositario de una enorme y poco conocida diversidad de regiones, ecosistemas, plantas, animales, microorganismos, genes y moléculas orgánicas. El mar, en apariencia homogéneo, es muy heterogéneo, de los polos al trópico, de uno a otro lado del mundo. Los ecosistemas marinos y las comunidades de seres vivos que los constituyen demuestran la gran variedad posible: manglares y arrecifes, profundidades abisales, sistemas pelágicos de mar abierto o quimiosintéticos en las fisuras submarinas de la corteza terrestre. Los grupos taxonómicos: esponjas, celenterados, algas, equinodermos, peces, muchos de ellos representados sólo en el mar, desafían la riqueza terrestre basada en fanerógamas e insectos. De la antigüedad del mar y de sus especies, de la adaptación a ambientes diferentes, de su diversidad específica, de la dispersión de sus poblaciones, se espera gran diversidad genética y bioquímica. Asociada a ella, un gran potencial biotecnológico.



El presente estudio ensaya una visión general de la biodiversidad marina en las diferentes escalas de expresión de la misma, a saber biogeográfica, ecosistémica-biocenótica, específica-poblacional y genética-bioquímica. El Caribe, uno de nuestros mares patrimoniales, sirve de referencia principal, como área de mayor diversidad después del Indo Pacífico.

La humanidad deriva innumerables beneficios del mar, por su función como regulador de grandes procesos climáticos y ecológicos que hacen posible la vida sobre el planeta y por sus ecosistemas y numerosas especies útiles, a pesar de que, respecto al mar, no se haya superado la etapa paleolítica de recolección.

Colombia, merced a su biodiversidad marina, como la que aportan sus numerosos ecosistemas y en especial áreas arrecifales como el Archipiélago de San Andrés y Providencia, incrementa enormemente su patrimonio natural y refuerza su potencial como uno de los países de mayor diversidad en el Planeta.

Ello señala la necesidad de incrementar esfuerzos investigativos y también de protección de los ecosistemas, como depositarios del patrimonio natural marino, contra los numerosos agentes de deterioro. Al respecto se añaden comentarios relativos a la dificultosa gestión ambiental del mar y la urgencia de emprenderla.

¹ Márquez, G. 1996. Biodiversidad marina: aproximación con referencia al Caribe. *En*: Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN Colombia. Bogotá. 67-102pp.

² Este trabajo forma parte del trabajo de tesis del autor para optar al título de Doctor en Ecología Tropical en la Universidad de los Andes en Mérida, Venezuela, bajo la tutoría de la Dra. Maximina Monasterio.

1 INTRODUCCIÓN

La biodiversidad es la multiplicidad de expresiones de la vida en su proceso de adaptación al ambiente y a las transformaciones que la vida misma introduce en aquel. En este sentido amplio, la biodiversidad incluye no sólo las numerosas especies de plantas, animales y microorganismos, sino los ecosistemas y poblaciones de los cuales forman parte y los genes y compuestos orgánicos que los constituyen y cuya existencia está ligada a la de la vida.

Así mismo, la importancia de la biodiversidad deriva tanto de las funciones que cumplen las especies y de su eventual utilidad directa para la humanidad, como de las funciones de soporte de las condiciones de vida sobre el planeta que cumplen los ecosistemas, así como del potencial genético y bioquímico que es y puede ser aprovechado en bien de la vida toda y del bienestar humano sobre el planeta.

Este estudio hace referencia específica a la vida en el mar y a las formas como se expresa en este ambiente, donde apareció por vez primera. La biodiversidad marina ha sido objeto, hasta el presente, de menos estudio que la terrestre. Ello se debe más a un azar en el devenir de las ciencias que a su importancia relativa, ya que la biodiversidad marina es de evidente importancia y se complementa con la terrestre por sus ecosistemas y biotas diferentes. La diversidad de la vida en el mar es enorme, lo que permite afirmar que será objeto de creciente atención. A ello se espera contribuir con este ensayo, que intenta una aproximación general al tema, con referencias más específicas al mar Caribe y a Colombia.

Una medida de la importancia de la biodiversidad marina está en el hecho de que, excluyendo a los insectos, el 65% de las especies del planeta sean marinas (Thorson, 1971). Dado el gran número de filos y taxa superiores mayormente representados en el mar (ej. esponjas, equinodermos, cnidarios, ctenóforos, rodofíceas, feofíceas, etc.), es probable que su diversidad al nivel genético y bioquímico sea aún mayor. A ello contribuye también el mayor tamaño y dispersión de sus poblaciones (Salm, 1982). En la escala ecosistémica, la diversidad es así mismo significativa, dada la variedad de biotopos que incluso han originado ecosistemas basados en quimiosíntesis.

Por contraste, el número total de especies (diversidad alfa) es mayor en tierra ya que el 75% de las especies del planeta son insectos. Además, la posibilidad de intercambio de especies entre habitats y ecosistemas, a través de larvas planctónicas, tiende a disminuir la diversidad entre y dentro de los habitats marinos (diversidad beta) y las posibilidades de endemismos acentuados. Por lo mismo son más laxos los límites geográficos.

El mar es, además, fuente de recursos y bienestar social y su diversidad es factor importante en ello. Aunque respecto al mar el hombre no ha logrado superar la fase paleolítica de recolector, son innumerables los bienes y servicios que obtiene de él, entre ellos alimentos, materias primas y recreación, ligados con su riqueza biológica.

No menos importante son los riesgos a los cuales se halla sometida. El uso del mar, su contaminación y en especial la ocupación humana de las costas, determina fuertes presiones sobre los ecosistemas, dentro de los cuales los manglares y los arrecifes coralinos se cuentan entre los más frágiles y amenazados.

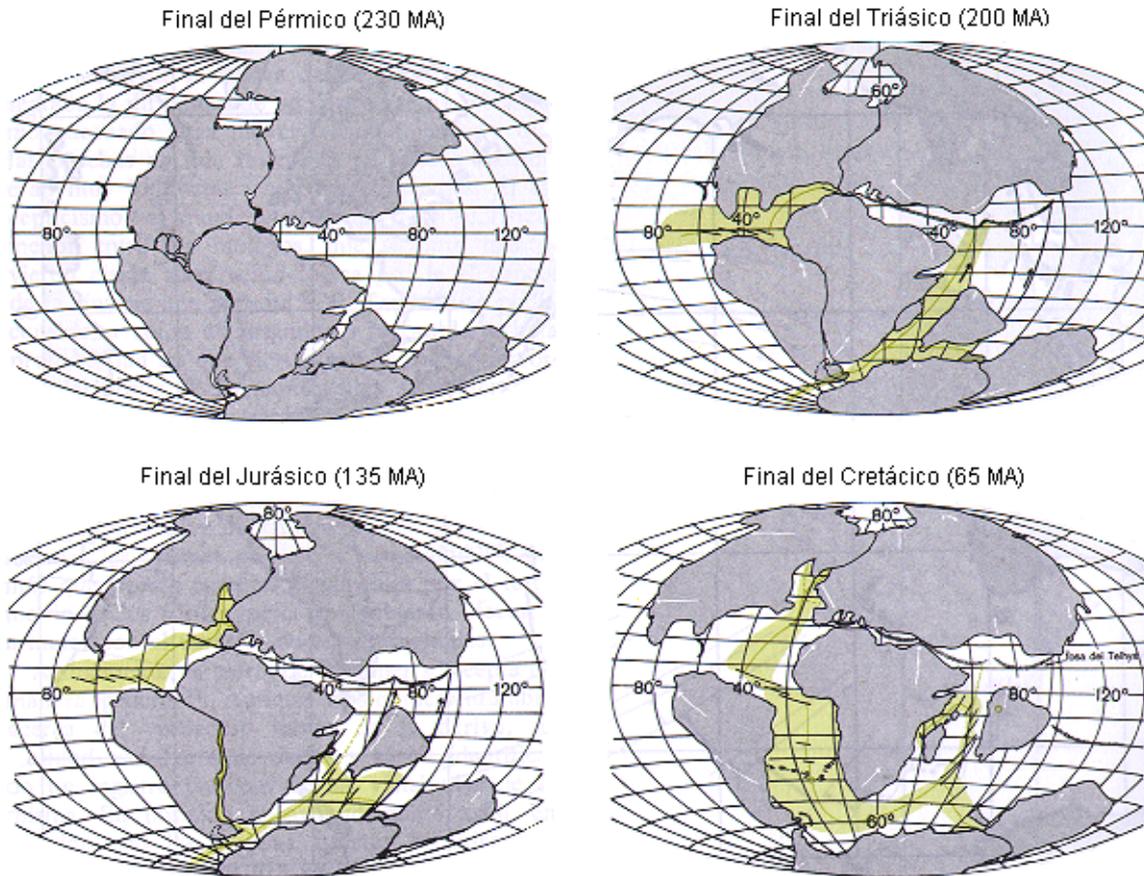
A continuación se desarrollan los temas planteados, analizando las diferentes escalas de la biodiversidad que proponen Halffter y Ezcurra (1992), esto es: geográfica, ecosistémica/biocenótica, específica/poblacional y genética/bioquímica.

2 LA BIODIVERSIDAD EN LA ESCALA GEOGRÁFICA

La diversidad en la escala geográfica considera la manera como se distribuye la vida sobre el planeta para conformar unidades biogeográficas; esta distribución es resultado de la evolución geológica y biológica a lo largo de millones de años.

Según la teoría de la deriva continental, la tierra emergente era una sola, Pangea, rodeada por el océano y fragmentada en dos grandes masas que se separaron paulatinamente ([mapa 1](#)). Cuando las masas se separaron se formó el mar de Thethys, que originó el Océano Atlántico, unido con el Océano primigenio de donde se formó el Pacífico, que es por ello de orígenes más

remotos. El proceso de desplazamiento, que aún continúa, condujo a la subdivisión actual. Los mares guardan relaciones biogeográficas entre sí dependiendo de su unión anterior y del tiempo y los eventos transcurridos desde su separación. Dentro de estos, las glaciaciones y los procesos tectónicos son definitivos para generar condiciones locales de la evolución de ecosistemas y biota.



Mapa 1 Fraccionamiento progresivo de la pangea o masa continental primitiva (Adaptado de Margalef, 1974)

Las condiciones ecológicas son otro factor determinante de la biodiversidad; las condiciones más estables de los ambientes tropicales han propiciado, como en tierra, mayor diversificación. Por el interior de estos ambientes también existen diferencias, con zonas más estables y propicias y zonas sometidas a perturbaciones.

El Indo Pacífico tropical, que no sufrió glaciaciones ni grandes perturbaciones tectónicas, es el mar que mayor tiempo ha existido en condiciones ecológicas similares y el más biodiverso que existe. El Caribe estuvo unido con el Pacífico hasta la emersión del istmo centroamericano hace 23 millones de años; por ello su biota guarda relación con el Pacífico oriental. Más joven, pero enriquecido por su contacto con el Pacífico, casi aislado del Atlántico por las Antillas y no afectado directamente por glaciaciones, el Caribe mantuvo una variada biota que se presume similar a la del mar de Tethys. Aunque menos rico que el Indo-Pacífico es, en este lado del mundo, el mar más diverso en especies y endemismos, aún más que el Pacífico oriental americano.

El Pacífico oriental, sobre el cual tiene costas Colombia, es un caso interesante. Su biota está muy relacionada con la del Caribe, con el cual estuvo unido por millones de años; esta relación es más importante que con el Indo Pacífico, del cual siempre ha estado separados por grandes distancias. Además, la biota del Pacífico oriental está muy empobrecida debido a condiciones ecológicas locales, derivadas de las corrientes frías de Humboldt y California y de las surgencias, que limitan el establecimiento de arrecifes coralinos y otros ecosistemas típicos tropicales.

Ekman (1953) definió 7 regiones zoogeográficas marinas, divididas a su vez en 15 subregiones (Tabla 1); dichas regiones y subregiones se basan en la distribución de especies características de la biota litoral, pues el plancton se distribuye más indistintamente. El trópico americano forma una subregión, uniendo el Caribe con el Pacífico oriental, lo cual se explica por lo señalado en párrafos anteriores. Autores locales tienden a hacer subdivisiones cada vez menores, lo que implica que la diversidad biológica es mayor en todos los niveles.

Tabla 1 Regiones zoogeográficas marinas

I.	Tropical (<i>Holothuria atra</i> , <i>Grapsus grapsus</i> , <i>Sphyrna zygaena</i> , <i>Diodon hystrix</i> , la mayoría de las tortugas marinas).
A.	Indo-pacífica occidental (<i>Fungia</i> , <i>Sarcophyton</i> , <i>Isis</i> y muchos otros antozoos, <i>Tridacna</i> , <i>Malleus</i> , <i>Nautilus</i> , <i>Diadema setosum</i>).
B.	Americana tropical y subtropical (crustáceos <i>Mythrax</i> y <i>Pyromaia</i> ; equinoideos <i>Encope</i> y <i>Mellita</i> ; <i>Crassostrea virginica</i> ; <i>Manta birostris</i>).
C.	Africana occidental tropical y subtropical (<i>Pusionella</i> , <i>Rotula</i> , <i>Rhopalodina lageniformis</i> , gastrópodo, equinoideo y holoturoideo, respectivamente).
II.	Mediterráneo-atlántica (<i>Corallium rubrum</i> , <i>Pennatula rubra</i> , <i>Pinna nobilis</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Avicula hirundo</i> , <i>Panopea glycymeris</i> , <i>Haliotis tuberculata</i> , <i>Tritonium nodigranulata</i> , <i>Lambrus mediterraneus</i> , <i>Ophiothrix quinquemaculata</i> , <i>Paracentrotus lividus</i> , <i>Sardina pilchardus</i> , <i>Engraulis encrasicolus</i> , muchos <i>Gobius</i> , <i>Blennius</i> y <i>Crenilabrus</i>).
III.	Boreal atlántica (<i>Mya arenaria</i> , <i>Cyprina islandica</i> , <i>Gadus morhua</i> , <i>G. aeglefinus</i> , <i>G. virens</i> , <i>Clupea arengus</i>).
A.	Atlántica europea (<i>Ophiura affinis</i> , <i>Echinus esculentus</i> , <i>Crangon allmani</i> , <i>Zoarces viviparus</i> , <i>Agonus cataphractus</i> , <i>Cottus bubalis</i> , <i>Ammodytes lanceolatus</i>).
B.	B. Atlántica americana (<i>Zoarces americanus</i> , <i>Cottus octodecimspinosus</i>).
IV.	Boreal pacífica (<i>Oregonia gracilis</i> , un crustáceo y peces hexagramidos y embriotócidos).
A.	Pacífica americana (crustáceos litóidos; <i>Pycnopodia helianthoides</i> , la mayor de todas las estrellas de mar; <i>Sardinops coerulea</i>).
B.	Pacífica asiática (especies de crustáceos - <i>Spirontocaris</i> , <i>Crangon</i> -, de equinodermos - <i>Henricia</i> , <i>Leptasterias</i> - y peces - <i>Raja</i> , <i>Icelus</i> -).
V.	Ártica (<i>Mesidothea</i> , <i>Mysis</i> , <i>Portlandia arctica</i> , <i>Yoldia hyperborea</i> , <i>Urasterias</i> , <i>Icasterias</i> , <i>Ludwigia</i> {= <i>Cucumaria</i> } <i>glacialis</i> , <i>Cottus quadricornis</i> , <i>Gadus saida</i> , <i>Mallotus villosus</i>).
VI.	Templada austral
A.	Africana meridional y sudoccidental (varias <i>Patella</i> , <i>Haliotis midae</i> , <i>Mytilus meridionalis</i> , crospterigios).
B.	Australiana meridional y tasmana (equinodermos: <i>Ptilometra macronema</i> , <i>Paranepanthis grandis</i> , <i>Placophiothrix spongicola</i> , <i>Tosia</i> , etc, algunos pingüinos).
C.	Neozelandesa (equinodermos "primitivos": <i>Apatopygus</i> , <i>Astropecten primigenius</i>).
D.	Peruano-chilena (<i>Engraulis ringens</i> , <i>Ethmidium maculatum</i> , <i>Merluccius gayi</i>).
VII.	Sudamericana y antártica (<i>Astrotoma agassizii</i> , ofiuroideo).
A.	Sudamericana antiboreal o magallánica (equinodermos: <i>Anasterias antarctica</i> , <i>A. pedicellaris</i> , <i>Austrocidaris canaliculata</i> , <i>Ceramaster patagonicas</i> ; peces: <i>Cottopeca</i> , <i>Notothenia</i> , <i>Austrolycus</i> , <i>Psammobatis</i> , siendo los más abundantes <i>Merluccius hubbsi</i> , <i>Macruronus magallanicus</i> , <i>Genypterus blacodes</i> y <i>Clupea fueguensis</i>).
B.	Kerguelense (peces del género <i>Chaenichthys</i>).
C.	Antártica (equinodermos, <i>Acodontaster</i> , <i>Lysasterias</i> , <i>Amphipneustes</i> , <i>Notocrinus</i> ; policlídidos y pantópodos; <i>Trematomus</i> , <i>Artedidraco</i> , <i>Bythydraco</i> , <i>Notothenia</i> y otros peces).

Según Eckman, 1953; en: Castellví et al., 1972.

En tales subdivisiones, a veces, los fenómenos ecológicos y oceanográficos, importan más, que los procesos históricos para generar heterogeneidad espacial y diversidad a escala geográfica reducida. Ilustrativo es el caso de las formaciones arrecifales alrededor del planeta, que tienen dos grandes áreas de distribución en el Indo-Pacífico y en el Atlántico, en especial el Caribe.

En ambas regiones se presentan estructuras equivalentes como los diferentes arrecifes y atolones coralinos. Pero a pesar de su origen común y afinidades ecosistémicas, las formaciones se diferencian en especies características. Ello pudo ser resultado de fuertes tensiones ambientales durante las glaciaciones, que aislaron al Caribe y explican sus numerosos endemismos (Prahl, 1988), según se indicó.

Así, las dos áreas presentan gran diferencia en el número de géneros y especies de corales pétreos (80 y 500, respectivamente, en el Indo Pacífico, contra 35 y 84 en el Atlántico). De ellos no comparten ninguna especie y el género en común más importante, *Acropora*, que presenta más de doscientas especies en el Indo-Pacífico tiene sólo 3 en el Atlántico. Las diferencias se acentúan al considerar otros grupos como los moluscos con concha de los cuales hay alrededor de 5.000 especies en el primero contra 1.200 en el Atlántico, o los peces con 2.200 y 600 especies respectivamente (Schuhmacher, 1978).

Pero la diferencia no ocurre sólo entre los dos océanos sino a su interior. En el Indo-Pacífico es posible distinguir hasta 6 subregiones separadas por amplios ecotonos cuyos extremos presentan acentuadas diferencias. Así, por ejemplo, en Indonesia se encuentran más de 90 especies de crinoideos en aguas someras, contra 30 en Palau, 6 en Guam y ninguna en la Polinesia francesa (Birkeland, 1990). Incluso ecosistemas completos como los manglares decrecen en el mismo eje oeste a este. El Caribe es relativamente homogéneo por su menor tamaño y por interconexión por corrientes; no obstante, pueden distinguirse en él, al menos dos grandes provincias: una del norte y otra del sur (Acero, *com. pers.*, con base en distribución de peces). Esta subdivisión podría explicarse con base en la influencia de las corrientes, en especial la Corriente Caribe, y con los fenómenos de surgencia frente a la costa norte de Sur América desde Venezuela hasta la región de Santa Marta en Colombia.

La diferencia entre las dos grandes áreas es significativa para la relación de la sociedad con el mar, pues perturbaciones naturales o inducidas por el hombre se expresan de manera diferente en cada una de ellas. Así, enfermedades o especies exóticas que se introduzcan en el Caribe, tienen grandes posibilidades de expandirse, como ocurrió con la enfermedad que afectó al erizo *Diadema antillarum* y tardó menos de un año en extenderse por todo el Caribe; no ocurrió así, en el Pacífico, con *Acanthaster planci*, la estrella de mar devoradora de corales cuyo impacto, aunque grave, fue más localizado.

De allí que, como lo señala Birkeland (1990), "todas las naciones que rodean el Caribe deben tener un interés directo en las actividades de manejo costero de los otros países porque el Caribe está interconectado. El Pacífico debe ser susceptible de manejo por subregiones". Desde el punto de vista de la biodiversidad esto significa que los países caribeños poseen un gran patrimonio común alrededor del cual unificar esfuerzos investigativos y de conservación, para lograr su aprovechamiento adecuado y sostenible.

3 LA BIODIVERSIDAD AL NIVEL ECOSISTÉMICO/BIOCENÓTICO

La vida es un fenómeno de interdependencia entre productores, consumidores y descomponedores. Es más fácil, al menos para un ecólogo, imaginar la vida sin especies que sin ecosistemas porque los procesos básicos de la vida son posibles en el caldo primigenio imaginado por Oparín, pero no es posible sin interacciones entre elementos del sistema. El azar genera la diversidad, la necesidad de la interacción la posibilita.

Bajo este título se consideran dos aspectos complementarios: la diversidad de ecosistemas, esto es de formas como se han organizado las interacciones entre organismos, y la diversidad de organismos que componen las biocenosis, esto es de los conjuntos de organismos que forman parte de cada uno de ellos.

El mar es, como la tierra, heterogéneo y presenta variados tipos de ecosistemas; quizá sea un reflejo de tal heterogeneidad el que no exista un criterio único para su clasificación. Los ecosistemas suelen identificarse mezclando atributos relacionados con las zonas de vida (ej.: ecosistemas benthicos, pelágicos, etc.), con los biotopos (ecosistemas de fondos y litorales arenosos, rocosos, etc.) y/o con las biocenosis características (ecosistemas de arrecifes de coral, de manglares, etc.). Según criterios funcionales, puede también clasificarse según su fuente de energía metabólica: el fitoplancton, macroalgas, aportes exógenos, etc. (Mann, 1989); esta categoría incluye los únicos ecosistemas quimiosintéticos conocidos.

En cuanto a la biodiversidad de las biocenosis, el mar presenta una serie de regularidades interesantes; por ejemplo, y como sucede en tierra, tiende a aumentar de los polos hacia el Ecuador favorecida por la mejor oferta ambiental en los trópicos, no sólo actual sino a lo largo de la historia del planeta; gradientes semejantes ocurren en el sentido de los meridianos en el Pacífico. También ocurre que sistemas desarrollados en condiciones de oligotrofia, como los arrecifes de coral, tienden a presentar mayor diversidad, relacionada con la ausencia de factores regresivos de la sucesión como son las fertilizaciones y otras perturbaciones a las cuales están sometidos muchos sistemas acuáticos.

De allí que sistemas como los bénticos de las profundidades abisales, a pesar de su extrema escasez de energía, desarrollen biodiversidades muy elevadas. Así mismo los sistemas bénticos son más diversos que los pelágicos, lo que resulta de su mayor capacidad de regulación de la oferta ambiental. Otra regularidad se relaciona con los incrementos paralelos de las diversidades Alfa y Beta.

En general las tendencias coinciden con dos generalizaciones propuestas por Margalef (1974) en el sentido de que la diversidad es baja en comunidades transitorias, explotadas o bajo condiciones ambientales muy fluctuantes y de que los valores raramente superan los 5 bits, indicando que la diversidad tiene óptimos y límites.

3.1 ECOSISTEMAS MARINOS Y SUS BIOCENOSIS

Para la clasificación de los ecosistemas se parte de considerar las zonas de vida en el mar. Se reconoce la existencia de ecosistemas pelágicos y bénticos, esto es de la masa de agua o asociados a los fondos marinos. A su vez, cada zona se diferencia en costera (nerítica) u oceánica, según se ubique o no sobre la plataforma de continentes o islas. Cabe diferenciar, además, los situados en la zona donde la luz es suficiente para sostener procesos fotosintéticos (zona eufótica) de los que viven en permanente oscuridad (zona afótica) y por lo tanto dependen del aporte de otros sistemas.

Estos factores interactuantes definen gran variedad de condiciones posibles, que sumadas a las geográficas ya reseñadas contribuyen a configurar la biodiversidad ecosistémica marina. Así, en cada gran región geográfica hay complejos ecosistémicos (esto es grupos de ecosistemas) asociados a las zonas de vida definidas con base en los criterios anteriores, a saber:

- Complejo de Ecosistemas (C.E.) bénticos neríticos en la zona eufótica.
- C. E. bénticos neríticos en la zona afótica.
- C. E. pelágicos neríticos en la zona eufótica
- C. E. pelágicos neríticos en la zona afótica.
- C. E. bénticos oceánicos, en la zona afótica profunda.
- C. E. pelágicos oceánicos en la zona eufótica.
- C. E. pelágicos oceánicos en la zona afótica.

En las descripciones siguientes los datos relativos a biomasa y productividad, salvo otra indicación, son tomados de Mann (1989).

3.1.1 Complejo de Ecosistemas Bénticos Costeros

Se clasifican los ecosistemas bénticos costeros según biotopos y biocenosis características. Los más importantes son :

- Ecosistemas de litorales y fondos rocosos
- Ecosistemas de litorales y fondos arenosos
- Manglares
- Arrecifes coralinos
- Praderas de pastos marinos

A estos ecosistemas propiamente marinos se suman en la zona costera los estuarios, donde se combinan las influencias marinas con las de aguas dulces. En esta categoría entran:

- Lagunas costeras y otros estuarios.

Ecosistemas de litorales y fondos rocosos

Los sustratos rocosos litorales someros se presentan en ambientes de alta energía por oleaje o corrientes intensas, donde predominan procesos erosivos. Esta tensión natural propicia biocenosis muy diversificadas, basadas en la productividad de macroalgas bénticas y de aportes exógenos por corrientes. La productividad primaria neta es de 500 a 4.000 gramos de materia seca por metro cuadrado y por año, con biomásas que van desde unos gramos hasta 4 kilos por metro cuadrado. La productividad puede ser muy elevada, del orden de hasta 10 gramos de carbono por metro cuadrado y por día. La estructura trófica se basa en herbivoría y en filtración de aportes exógenos y genera excedentes como materia orgánica particulada y disuelta (hasta 40% de la producción primaria neta) aprovechada en otros ecosistemas.

En el Caribe los litorales rocosos sublitorales son ocupados por biocenosis coralinas, excepto donde sedimentos o aguas fértiles limitan su asentamiento. En tales casos macroalgas bénticas sustentan erizos, gastrópodos y otros herbívoros, en conjunto con una trama de detritívoros donde predominan invertebrados. De los litorales rocosos el hombre obtiene peces, langostas y caracoles, que en el Caribe tienen importancia como pesca de subsistencia. De importancia potencial es el cultivo de algas.

La diversidad de las comunidades de fondos rocosos. Los fondos marinos son tanto más diversos cuanto más consolidados y profundos (Margalef, 1974). Hay reportes que permiten corroborar al menos la primera afirmación con respecto al sector del Parque Tayrona en el Caribe colombiano, donde a pesar de particularidades locales inducidas por surgencias, las comunidades de fondos rocosos presentan mayor variedad de especies: de 135 especies estudiada 87 se encuentran en litorales rocosos contra 62 en el areno rocoso y 64 en fondos areno fangosos, incluidas praderas de fanerógamas; asimismo ocurre con grados de endemismo de más del 25% en sustratos rocosos contra 15 en fondos areno rocosos y menos de 10% en fangosos adyacentes (Guillot y Márquez, 1978). Algo similar ocurre con los tipos de vegetación, de los cuales se describen 13 para el rocoso contra 12 del areno rocoso, 4 del areno-fangoso y 3 de las raíces de mangle (Márquez y Guillot, 1983).

Ecosistemas de litorales y fondos arenosos y fangosos

Los sustratos arenosos se presentan en áreas de acumulación de sedimentos. En medios de alta energía no tienen sustratos estables para productores primarios; así, la biocenosis depende de aportes alóctonos por corrientes; dependiendo de ellos, pueden soportar biomásas significativas de filtradores. A mayor profundidad y en aguas someras de media y baja energía se estructuran biocenosis muy diferentes. Cerca de la costa, estos fondos son cubiertos por praderas de fanerógamas a las cuales se hace referencia posterior. En otras condiciones se establecen macroalgas psamófilas que alcanzan una productividad primaria neta de 150 g C m². a⁻¹.

Pero el ingreso más común en la mayoría de estos sistemas son depósitos de materia orgánica particulada entre 30 y 100 g C metro cuadrado año. Parte importante sería consumido por bacterias, pero aún así otra parte sería consumida directamente por meio y macrobentos, que también consumen bacterias. El meibentos es alimento del macrobentos y todos de los peces, de los cuales la productividad en estos medios puede alcanzar los 5 g C m⁻² a⁻¹.

Los sustratos arenosos y fangosos son el elemento dominante en los fondos marinos del mundo; de allí que, aunque su productividad sea relativamente baja, de ellos dependa gran parte de la pesca marina, en estrecha relación con la riqueza de la columna de agua y los aportes de materia orgánica. En el Caribe el mayor potencial de los sustratos arenosos es el de las soleadas playas para turismo. Los camarones y peces demersales son la base de una industria pesquera en riesgo por sobreexplotación y deterioro por los métodos de pesca. Hay un notable desperdicio de recursos que, paradójicamente, resulta de la enorme diversidad de las biocenosis bénticas; más del 70% de las capturas en redes de arrastre de camarón se componen de especies no utilizables. Los especímenes capturados se devuelven al mar, ya muertos.

Diversidad de la comunidad en sistemas béticos arenosos y fangosos someros y profundos. La diversidad de la comunidad en sistemas béticos es mayor que en los pelágicos adyacentes (Margalef, 1974); ello obedece a la función estabilizadora que cumple el sustrato como receptor y acumulador de materia orgánica, función que se incrementa con la profundidad y con la estabilidad del mismo. El mismo autor señala cómo la diversidad de foraminíferos en un estudio se incrementó desde 1,44 a los 20 metros de profundidad a más de 5 a los 5.000 metros. Al parecer la diversidad de la fauna en las planicies abisales es muy alta, lo que es atribuible a la enorme estabilidad en las condiciones ambientales de las grandes profundidades a lo largo de milenios.

Ecosistemas de manglar

Las depresiones costeras llenas con sedimentos marinos o fluviales e influencia de aguas dulces, son ocupadas en los trópicos por un bosque anfibio, el manglar, adaptado a medios salobres, en suelos fangosos anóxicos, medios con alta humedad atmosférica, mareas fuertes y salinidad fluctuante. Al manglar confluyen animales y plantas marinos y terrestres que contribuyen y aprovechan su gran productividad.

Los mangles del trópico americano pertenecen a 10 especies por contraste con más de 60 especies en el Viejo Mundo. En el Caribe colombiano hay 5 especies de mangles: el mangle rojo *Rhizophora mangle*, el mangle salado *Avicennia germinans*, el mangle blanco *Laguncularia racemosa*, el botoncillo *Conocarpus erecta* y *Pelluciera rhizophorae*.

El ecosistema depende de la producción primaria neta del bosque, que alcanza entre 350 y 500g C m⁻²a⁻¹; este aporte se transfiere en forma de mantillo del cual caen entre 2 y 15 toneladas por hectárea año, según datos para el Caribe colombiano (Márquez, 1992). El aporte de las algas de las raíces es comparativamente muy menor; se aprovechan aportes exógenos. Menos de un 10% de la producción es consumida por organismos terrestres. La mayor parte cae al suelo o al agua y se vuelve detritus, base de la cadena alimenticia del manglar: bacterias, meio y macrobentos (cangrejos, anfípodos, isópodos e innumerables gusanos) que pueden clasificarse según su modo de alimentación en trituradores y en filtradores de materia en suspensión o depositada en los sedimentos. Son alimento de carnívoros terrestres y acuáticos: cangrejos, peces. Muchos de estos organismos aprovechan las raíces del mangle como sustrato. Juveniles de peces y langostas se refugian entre las raíces, convirtiendo al manglar en área de cría.

Parte importante de la producción del manglar no se aprovecha en él sino que se transfiere a ecosistemas adyacentes como el mar, estuarios y lagunas costeras, gran parte de cuya productividad pesquera es debida al manglar.

De los manglares se obtiene madera y taninos, pesca, consolidación de playas contra erosión, control de contaminación, ecoturismo, conservación de vida silvestre. No obstante, en todo el mundo y en el Caribe, están en deterioro por sobreexplotación, por obras de "adecuación" de tierras, por alteración de regímenes hidrológicos, por asentamientos humanos. Tal es el caso de las principales ciudades en el Caribe y el de industrias y desarrollos industriales importantes como los petroleros, carboníferos, bananeros y la camaronicultura.

Diversidad de las comunidades de manglar. Los manglares, como sistemas sometidos a tensión natural por las repetidas fertilizaciones y la acumulación de materia orgánica en el sistema, no son sistemas con una diversidad alfa muy elevada, lo que se evidencia también en la dominancia de ciertas especies. De otra parte, en el espacio y en el tiempo albergan gran cantidad de vida y significativa diversidad aún mayor si se consideran los aportes del manglar a sistemas adyacentes como el mar y las lagunas costeras. La diversidad en la comunidad asociada a las raíces del manglar alcanza los 3 bits.

Ecosistemas de pastos marinos o praderas de fanerógamas

Las praderas de pastos marinos, muy similares a las terrestres, se desarrollan sobre fondos arenosos y fangosos costeros. A los pastos se asocian algas y animales en una comunidad muy relacionada en el Caribe con ecosistemas coralinos. Las praderas modifican la topografía, reteniendo sedimentos y creciendo sobre sí hasta casi emerger, fase en el cual pueden ser invadidas por manglares, propiciando avance de la tierra sobre el mar.

Tres especies de fanerógamas las forman: el pasto de tortuga *Thalassia testudinum*, el de manatí *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*; otro género, *Halophila* con varias especies, no se mezcla con los anteriores ni forma praderas.

La producción de las praderas marinas de *Thalassia* alcanza entre 400 y 4000 g C m⁻² a⁻¹. Las epífitas pueden producir 200 g adicionales. Los pastos marinos, dado su origen terrestre son poco aprovechables por organismos marinos, y los consumen principalmente tortugas y manatíes; peces y erizos sólo los aprovechan parcialmente. La mayoría de la producción se aprovecha como detritus, base de la trama trófica: foraminíferos, gusanos, anélidos, moluscos, equinodermos y crustáceos, etc. Los carnívoros superiores son barracudas o tiburones, pulpos, cangrejos. Parte se exporta por sus muchos visitantes y por las corrientes; las hojas de pastos marinos son frecuentes en las profundidades marinas.

La mayoría de recursos de las praderas marinas están agotados por mal uso humano: tortugas, manatíes, caracoles, estrellas de mar. Ello deja sin uso gran parte de la producción; los pastos crecen sin quien los consuma. Las praderas son dañadas por construcciones, dragados, por extracción de corales y caracoles por turistas o para venta a los mismos. Los caracoles como *Strombus gigas* están muy presionados, y manatíes y tortugas marinas casi extinguidos.

Biodiversidad de la comunidad en praderas de fanerógamas. Las praderas tropicales son mucho más diversas que las de zonas templadas, en especial las que se desarrollan en asociación con ecosistemas coralinos, como ocurre en la mayoría del Caribe. En estos casos, además de las especies propias de las praderas se encuentran juveniles y residentes ocasionales provenientes del manglar, así como especies adaptadas a ambos medios mediante ecoformas bien definidas, como es el caso de *Manicina areolata* o de varias formas de *Siderastrea* y de *Millepora*.

Ecosistemas coralinos

Los ecosistemas coralinos y en especial los arrecifes son la expresión más avanzada de la evolución ecosistémica marina. Las formaciones coralinas resultan de un proceso de transformación del medio marino por los corales y las algas. Los corales son animales coloniales del grupo de los cnidarios, que viven en simbiosis con algas microscópicas llamadas zooxantelas. El sistema que forman acumula, a lo largo de siglos, nutrientes y estructuras de carbonato de calcio de sus esqueletos, hasta cambiar la topografía marina y acumular recursos vitales. A corales y algas se asocian innumerables organismos. El ecosistema que conforman es quizá la mayor maravilla de la naturaleza viviente, a la cual sólo se compara la selva tropical.

Se dice con razón que esta se encuentran muy amenazada, aunque de ella persisten más de 8.000.000 de kilómetros cuadrados sólo en América del Sur. Que puede decirse entonces de las formaciones coralinas? Estas cubren entre 150.000 (Schumacher, 1978) y 600.000 Km² (Smith, 1978; en WCMC, 1992) en el planeta, o sea entre 0,3 y 1% de su área; no obstante, poseen más del 5% de toda su flora y fauna. El 14% de las áreas coralinas del mundo se encuentran en el Caribe donde, según Rogers (1985), el 85% presentan algún grado de deterioro.

Las formaciones coralinas van desde simples coberturas discontinuas hasta inmensos complejos arrecifales formadores de islas y exigen condiciones ecológicas que sólo se encuentran en ciertos mares tropicales: Temperatura superior a 20°C, salinidad marina promedio (36%) estable, pocos sedimentos, alta luminosidad, aguas oligotróficas, corrientes y oleaje fuertes.

Existen 2 tipos básicos de formaciones coralinas: a) las comunidades y alfombras de coral, que no modifican la topografía y b) los arrecifes coralinos, estructuras topográficas resultantes de crecimiento superpuesto de sucesivas generaciones de coral. Estos últimos presentan 4 formas diferenciadas: Arrecifes costeros, arrecifes barrera, atolones y parches o bancos de coral.

Todas estas variantes se encuentran en el Caribe. Las comunidades y arrecifes costeros predominan en los litorales continentales e insulares en todo el Caribe. Más lejos de influencias terrestres se encuentran otros tipos. El mayor desarrollo, que es el arrecife barrera, sólo se encuentra en frente de Bélize - México y en la Isla de Providencia, en el Caribe colombiano. Los cayos Bolívar, Albuquerque y los bancos de Roncador y Serrana, en Colombia, constituyen los únicos atolones bien estructurados del Caribe.

Los productores primarios principales en los ecosistemas coralinos son las zooxantelas y las macroalgas. La productividad primaria bruta de estos sistemas esta entre las mas altas del planeta, alcanzando los 5000 g C m⁻² a⁻¹, de los cuales unos 3000 corresponden a las zooxantellas. Muy importante es la entrada de energía desde otros sistemas; los ecosistemas de coral están adaptados a corrientes que les aporten materia orgánica disuelta y particulada, incluyendo plancton, de otros ecosistemas: manglares, praderas de fanerógamas, sistemas pelágicos y terrestres. El arrecife actúa como un gran filtro para lo cual cuenta con diversas e ingeniosas estrategias de filtración activa y pasiva. En el Caribe juegan papel importante, en este sentido, los octocorales.

Los carnívoros se diferencian en filtradores y cazadores de presa. Los primeros como corales y otros cnidarios; zooplancton como los gusanos flecha y muchos crustáceos y peces, incluyendo rayas y tiburones. De presa son caracoles, estrellas de mar, langostas y peces: tiburones y barracudas.

La trama trófica es densa y compleja. Parte importante de la materia orgánica es aprovechada por detritívoros muy diversos: sedimentívoros y filtradores como anélidos, esponjas, moluscos, equinodermos y crustáceos, además de muchos y variados peces. Diferentes compartimientos del ecosistema cumplen diferentes funciones: la cresta arrecifal y los ambientes de alta energía actúan como productores netos y exportadores de la misma para compartimientos heterotróficos como los fondos de la laguna arrecifal.

La producción aprovechable de peces en áreas coralinas alcanza hasta 20 toneladas por km² y por año pero en promedio no supera las 5 toneladas por km². El hombre utiliza además mariscos, perlas, coral. Estos recursos han sostenido poblaciones humanas en condiciones que envuelven en un aura legendaria la sola referencia a las Islas de los Mares del Sur y del Caribe, lo que es también el resultado de los benignos climas y belleza de los paisajes en los mares tropicales coralinos. Estos mismos atractivos legendarios atraen el turismo moderno hacia las playas de coral.

La riqueza de los arrecifes conlleva una gran fragilidad, pues es producto de un proceso milenario de acumulación en condiciones de gran estabilidad ambiental, en medios oligotróficos. Quién observa los arrecifes del Caribe ve el resultado de una historia de 50 millones de años cuyo último episodio, que dio origen a los actuales arrecifes, se inició hace 12 mil años. La riqueza puede perderse rápidamente pues el ecosistema tiene tasas de renovación muy bajas, incompatibles con la extracción a la que se le somete.

Los daños, además de sobreexplotación, provienen de extracción de corales por turistas, buceo poco cuidadoso, daños por motores fuera de borda y por la vibración de los mismos, sedimentos por erosión terrestre, por obras costeras o aportada por ríos y eutroficación.

Diversidad de la comunidad en ecosistemas de arrecifes coralinos. La diversidad de la comunidad alcanza sus mayores valores en los ecosistemas coralinos: 2,7 a 4,9 bits. Valores similares se encuentran en las taxocenosis de peces arrecifales (Margalef, 1974). Estos elevados valores se corresponden adecuadamente con la prolongada historia geológica y avanzada organización de los ecosistemas arrecifales.

La diversidad Beta es muy elevada en los complejos arrecifales coralinos, como ejemplo de comunidad de alta organización. De hecho, un arrecife de coral debe entenderse como un ecosistema compuesto de múltiples subsistemas menores cada uno de los cuales responde tanta a una necesidad estructural como a una función dentro del conjunto: la terraza y el talud antearrecifales, la cresta, la terraza y el canal lagunares, los arrecifes parche, etc., con sus diferentes sustratos, especies y funciones. Cada subsistema reúne sus propias especies y tiene una diversidad propia.

Como se indicó en páginas anteriores, es significativo que las formaciones coralinas puedan contener, en menos del 1% del planeta, hasta un 5% de su biodiversidad específica total.

Ecosistemas de lagunas costeras y estuarios

En las confluencia de aguas dulces con el mar se crean condiciones para uno de los ecosistemas más productivos de la naturaleza: los estuarios. Las condiciones son: salinidad fluctuante, aporte de aguas dulces fértiles y con sedimentos, influencia marina. Se distinguen 2 tipos de estuarios representados en el Caribe: Los estuarios abiertos, donde grandes ríos irrumpen en el mar como ocurre con el Magdalena, y las lagunas costeras, cuando el río entra

en una depresión costera y forma una laguna separada del mar por barras arenosas pero comunicado por canales o bocas.

Las lagunas costeras son complejos ecológicos donde se reúnen varios biotopos: manglares, aguas dulces, salobres y saladas, fondos duros y blandos. La laguna acumula materia orgánica y nutrientes. El fitoplancton es el productor propio del complejo lagunar, alcanzando productividades muy elevadas por las eutrofia. La producción primaria neta es del orden de 5 a 15 toneladas de materia seca por hectárea año.

El complejo además recibe energía metabólica de los otros ecosistemas y a través de los ríos y el mar. El fitoplancton, de cianofíceas y diatomeas, es consumido por zooplancton y junto con este es alimento de filtradores bénticos y nectónicos, en especial peces, como sardinas, anchovetas y mugílidos. Estos son sustento de peces carnívoros y base de importantes pesquerías. Aves como pelícanos, patos cuervo y garzas complementan esta vía.

Gran parte de los ingresos de energía es convertida en detritus, muy abundante como seston y depositado en el fondo, que sirve de alimento filtradores y sedimentívoros. Del bentos se alimentan peces "comedores de barro", anélidos y crustáceos (cangrejos, camarones). Los carnívoros son peces, cangrejos nadadores (jaibas) y caracoles. Abundan los parásitos de todo tipo.

La estacionalidad es característica de los estuarios, determina cambios en las biocenosis y coincide con la estacionalidad climática. El fenómeno es muy evidente, por ejemplo, en la Ciénaga Grande de Santa Marta, en el Caribe colombiano. El plancton se incrementa por fertilización en períodos de lluvia; tras el vienen alevinos de mugílidos y engráulidos que atraen peces carnívoros y sustentan bandadas de aves acuáticas, muchas migratorias, a principios de año. Las ostras fluctúan con la salinidad, hasta casi desaparecer con aguas dulces. Peces marinos pueden adentrarse en la Ciénaga en períodos secos mientras algunos de agua dulce pueden ser pesca importante durante inviernos fuertes. El manglar aporta su producción con los vientos que hacen caer las hojas. Un día abundan las mojarras (Gerridos), residentes de la Ciénaga, otro las lisas (Mugílidos) que migran desde el mar y a veces los bocachicos de agua dulce.

En el Caribe las lagunas costeras son sitios de pesca de ostras y peces y de cría de peces, langostas y camarones. La productividad pesquera alcanza 20 toneladas de peces por $\text{km}^{-2}\text{a}^{-1}$ y muchas de ostra dependiendo del sustrato disponible. Además, producen excedentes que se exportan al mar como materia orgánica disuelta y particulada o es llevado por especies migratorias.

Las lagunas costeras, como los estuarios en general, están sometidas a intensos procesos de deterioro en todo el Caribe, por contaminación a través de ríos o por población aledaña, por alteración del intercambio de aguas con mar, tierra y ríos, por desecación, daño a ecosistemas adyacentes y en las cuencas y por sobrepesca y uso de técnicas destructivas de pesca. La perturbación del equilibrio ecológico vuelve impredecibles las lagunas y limita la adaptación de los organismos. Los cambios desconciertan, pues mortandades masivas pueden ir seguidas de gran producción y salinización revertirse por endulzamiento de las aguas. La muerte del manglar, floraciones dañinas de cianofíceas, muertes masivas de peces, son expresiones del deterioro.

Pero las lagunas costeras son por naturaleza sistemas cambiantes y la mayoría aún resisten las presiones a que son sometidas, en condiciones cada vez más precarias. Cuando su equilibrio ecológico se derrumbe, el hombre habrá perdido uno de sus ecosistemas más productivos.

Diversidad de la comunidad en estuarios y lagunas costeras. Como se indicó, los valores de diversidad de comunidades planctónicas en aguas costeras y en estuarios es muy baja, del orden de 1 bit o poco más, como resultado de la tensión natural y variabilidad ambiental de estos sistemas influidos por la tierra.

Tiende a presentarse una elevada biomasa pero también acentuada dominancia de ciertos grupos como las cianofíceas o flageladas, favorecidas por la abundancia de materia orgánica y nutrientes.

3.1.2 Ecosistemas pelágicos

Los ecosistemas pelágicos o de la masa de agua se basan en la producción del fitoplancton; son responsable del 90% de la producción marina mundial, no tanto por ser muy productivos sino por ocupar la enorme superficie del mar. El fitoplancton y la producción dependen de la concentración de nutrientes en el agua, pudiendo ser mas baja que la de los mas áridos desiertos terrestres en vastos sectores del océano mundial. En aguas ricas fertilizadas por surgencias o ríos, la productividad puede ser superior a la de un campo de cultivo.

Los ecosistemas pelágicos se diferencian, dependiendo de si son fertilizados o no, en: a) Ecosistemas estables de baja producción y b) Ecosistemas pulsantes de alta producción (Márquez, 1990). En el Caribe existen ambos tipos. Los de alta producción en las surgencias frente a Colombia, Venezuela y Yucatán y bajo influencia fertilizante de grandes ríos como el Magdalena; el resto corresponde, en general, a ecosistemas de baja producción.

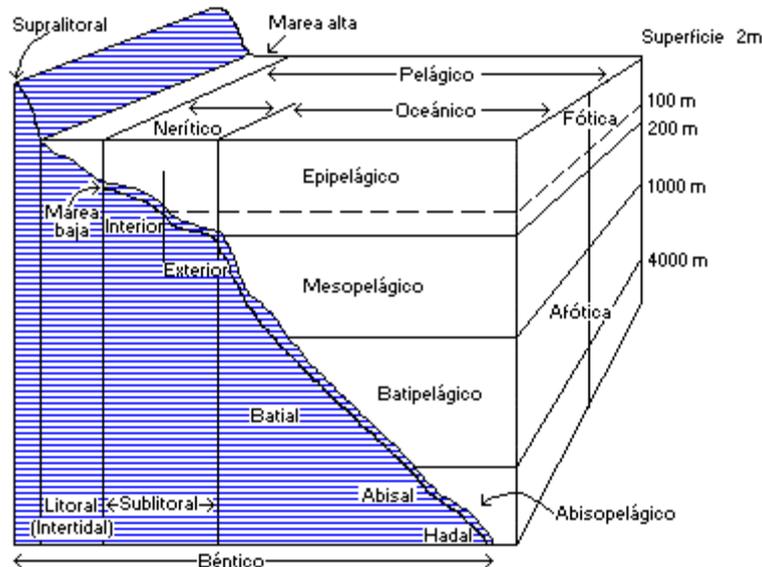


Figura 1 Ambientes marinos.

Sistemas pelágicos estables de baja producción o ecosistemas de aguas azules

La mayor parte del Caribe no es fertilizada ni por surgencias ni por ríos; las aguas cálidas superficiales no se mezclan con las profundas más frías y ricas en nutrientes; los nutrientes se sedimentan y el mar se transforma en un desierto donde se organiza un ecosistema poco productivo pero de admirable complejidad. Este ecosistema es llamado de aguas azules porque las aguas, con poco plancton, tienen un color intensamente azul como se observa lejos de las costas. En las aguas cálidas y pobres los seres vivos enfrentan dos dificultades: cómo obtener nutrientes y cómo permanecer en suspensión. A cambio, gozan de estabilidad en sus condiciones de vida, lo que permite la evolución de sorprendentes adaptaciones al medio.

El fitoplancton escaso pero muy variado, está dominado en el Caribe por la cianofítica *Oscillatoria* a la que acompañan dinoflagelados, algunas grandes diatomeas y cocolitofóridos. Se caracteriza este fitoplancton por diversas estrategias para mantenerse a flote y obtener nutrientes. *Oscillatoria* flota con ayuda de burbujas, fija nitrógeno atmosférico y usa fósforo orgánico; los dinoflagelados retardan su sedimentación con ornamentaciones que aumentan su fricción con el agua, lo que incrementa la posibilidad de obtener nutrientes. Existe otro productor importante: la macroalga flotante *Sargassum*, que da su nombre al Mar de los Sargazos, y es sustrato para otras plantas y animales.

El fitoplancton es consumido por un zooplancton muy característico, formado por copépodos y harpacticóideos de formas alargadas para la flotación y por larvas de peces (ictioplancton) de origen demersal. Es posible que estos consumidores se beneficien de materia orgánica disuelta concentrada por bacterias (Márquez, 1987). El zooplancton carnívoro son algunas de estas larvas, crustáceos y quetognatos. La poca densidad de plancton, resultado de la baja producción, hace que consumidores mayores sean poco importantes: pequeños peces que sostienen a su vez poblaciones bajas y dispersas de predadores migratorios como bonitos y

atunes. Sólo en áreas de remolinos se concentra materia orgánica disuelta y particulada detrítica que sustenta organismos en cantidades significativas.

Sistemas fértiles de producción pulsante

Los sistemas fértiles son de dos tipos muy diferentes en sus orígenes pero con similitudes ecológicas significativas: los fertilizados por surgencias y los fertilizados por ríos. La principal característica común es que ambos reciben periódicamente nutrientes que incrementan su productividad durante pulsos que alternan con fases menos productivas. Las fertilizaciones van seguidas de aumentos del fitoplancton, compuesto principalmente por diatomeas con altas tasas reproductivas que aprovechan los pulsos y soportan la pérdida de individuos por turbulencia. El fitoplancton es consumido por zooplancton pequeño, de ciclo de vida corto y altas tasas de natalidad (copépodos calanoides, cladóceros, rotíferos), cuyas poblaciones crecen rápidamente para aprovechar el aumento del fitoplancton.

El plancton es consumido por peces también especializados en el aprovechamiento rápido de una oferta temporal. Son las sardinas (Clupéidos) y las anchovetas (Engráulidos), cuya estrategia consiste en grandes posturas de huevos de rápido desarrollo para formar cardúmenes de planctófagos. En cercanías de lagunas costeras son importantes los juveniles de mugílidos.

Los cardúmenes de anchovetas y sardinas son predados por cazadores pelágicos migratorios como jureles, atunes y sierras. En el área de surgencia colombiana del Caribe son importantes las pesquerías de estos predadores. Otros visitantes de las costas colombianas son ballenas (*Balaenoptera edeni*); su papel ecológico es poco conocido y quizá ni se alimenten durante su paso que coincide, no obstante, con el final del período de surgencia, hacia marzo, cuando la producción es más alta.

La mayor parte de la producción de los sistemas pulsantes se transfiere por sedimentación a fondos donde es aprovechado por una comunidad diferente donde se destacan los camarones; al respecto ver lo correspondiente a ecosistemas en fondos arenosos y fangosos.

De los ecosistemas pelágicos se obtiene gran parte de la pesca en el mundo, aunque en el caso del Caribe la contribución es menor. En efecto, la pesca de altura en el Caribe es poca, si se exceptúa la de atún en la surgencia de Venezuela. El resto de la pesca es aprovechado artesanalmente, lo cual es un reflejo del predominio de los ecosistemas estables de baja productividad.

Diversidad de la comunidad en sistemas pelágicos. Las comunidades fitoplanctónicas tienden a incrementar su diversidad de los polos hacia las regiones tropicales, como lo hacen las comunidades terrestres. La diversidad también se incrementa a medida que aumenta la distancia a la costa; los valores calculados con índices de Shanon-Weaver van de 1 a 2,5 bits en las costas, encontrándose los valores más bajos en estuarios o áreas de afloramiento. En el plancton oceánico se reportan valores de 3.5 a 4.5 (Margalef, 1974). El incremento sigue un gradiente de mayor a menor turbulencia en la masa de agua, si bien en medios muy estratificados pueden presentarse excepciones a esta tendencia general. En muestras de aguas muy estratificadas del Caribe colombiano se encuentra una gran riqueza de especies que contrasta con el acentuado predominio de la cianoficea *Oscillatoria* que puede constituir el 90% de la biomasa fitoplanctónica, lo que determina una diversidad muy baja.

El zooplancton presenta una tendencia similar al fitoplancton pero los valores pueden ser más bajos; igual ocurre con peces, cuya diversidad puede estar entre 1 y 3,5 bits.

Las consideraciones anteriores se refieren a la diversidad alfa o de especies. Si se considera la diversidad Beta o de patrón, la tendencia puede ser similar pues mientras más estratificado sea el medio acuático y menor los intercambios en sentido horizontal en la masa de agua, la heterogeneidad del patrón aumenta, formándose un mosaico de pequeñas estructuras que, sumadas, presentan un espectro de diversidad ascendente. Por contraste, medios turbulentos tienden a homogenizar las comunidades en ellos presentes, lo que da lugar a una baja en la diversidad de patrón espacial, si bien la dinámica de cambios temporales en estos medios suple en alguna medida, con cambios de diversidad en el tiempo, la homogeneidad en el espacio.

Ecosistemas pelágicos y bénticos de la zona afótica (profunda)

Los ecosistemas que se estructuran en las partes profundas del mar, mas allá de los límites de penetración de la luz, son aún un misterio. Aquí se hará una breve referencia general a todos ellos, bénticos y pelágicos, neríticos y oceánicos.

En sentido estricto, estos ecosistemas son subsistemas ecológicos puesto que dependen de la producción primaria de otros sistemas, una leve lluvia de seston que es aprovechada en su recorrido desde la superficie hasta las profundidades donde solo llegan cantidades irrisorias de alimento. Se exceptúan los extraños sistemas basados en quimiosíntesis bacteriana que se organizan cerca a fisuras de la corteza terrestre por las cuales brotan vapores de sustancias reducidas que aportan la energía para la síntesis orgánica.

No obstante la escasez de alimento, las enormes presiones y la baja temperatura, la vida ha invadido las grandes profundidades con profusión de especies que han aprovechado la prolongada estabilidad del ambiente para alcanzar complejas y variadas adaptaciones a un medio hostil. Todos conocen las fantasmagóricas visiones obtenidas a bordo del batiscafo, de peces monstruosos y luminiscentes, trampas vivas para sus escasas presas. Menos conocidas son las formas bacterianas, que son los productores quimiosintetizantes de los sistemas ya referidos, o las estrellas y gusanos marinos de los fondos abisales.

No se sabe cuantos misterios encierran aún las profundidades. Se puede esperar que la estabilidad mantenida allí durante millones de años haya posibilitado una enorme diversificación de la vida y la persistencia de fósiles vivientes como *Celacanthus*, el pez que se creía extinguido hace millones de años y vive en las profundidades del O. Indico. Es posible que las especies batiales y abisales tengan amplias distribuciones en todo el planeta dada la similitud fundamental en las condiciones ambientales en cualquier parte del océano profundo. No obstante, también se ha señalado alto endemismo en un interesante trabajo dedicado a la biodiversidad en la grandes profundidades incluido en el reporte sobre la biodiversidad global de la WCMC (1992).

Aunque el Caribe es un mar tropical y relativamente poco profundo, alcanza en algunas de sus cuencas mas de 4000 m., profundidad suficiente para el desarrollo de ecosistemas abisales hasta ahora poco explorados, pero donde podrían esperarse interesantes afinidades con la biota de otros mares del mundo y en particular con el O. Pacífico y, de acuerdo con lo planteado en páginas anteriores, con el mar de Tethys.

Desde el punto de visto de su aprovechamiento por el hombre los sistemas abisales no son representativos hasta el presente, aunque no deban descartarse contribuciones futuras, por ejemplo a la comprensión de las adaptaciones a las grandes presiones, bajas temperaturas y perpetua oscuridad.

4 LA BIODIVERSIDAD MARINA AL NIVEL ESPECIFICO - POBLACIONAL

Como se indicó, si se descuentan las especies de insectos terrestres, que son el 75% de la biodiversidad del planeta, mas del 65% de las especies restantes serían marinas, la mayoría perteneciente a diferentes grupos de algas e invertebrados. Puede razonablemente esperarse que de la investigación de la riqueza específica del mar puedan surgir inesperadas alternativas de desarrollo humano. No en vano se ha hablado de una "revolución azul" que debe resultar tanto del aprovechamiento de la diversidad como del cultivo del mar.

4.1 DIVERSIDAD DE LOS PRODUCTORES

La mayor parte de la producción autóctona del mar es aportada por las algas, bien sea planctónicas o bénticas; tal producción se concentra en las zonas neríticas de continentes e islas, ya que la mayoría de las zonas oceánicas del planeta tienen productividades cercanas a las de los desiertos terrestres. Una porción menor pero significativa es aportada por fanerógamas marinas, dentro de las cuales pueden incluirse los manglares. No existen briófitas ni líquenes propiamente marinos. El análisis de las algas se basa principalmente en los datos de Scagel *et al.* (1970).

Las algas del fitoplancton marino pertenecen principalmente a las cianófitas, pirrófitas y crisófitas y en menor grado a clorófitas y euglenófitas con pocos representantes de las demás divisiones.

Sólo una proporción menor de las cerca de 1.500 especies de cianófitas son marinas, pero en cambio su abundancia y ubicuidad es enorme y su función ecológica, principalmente a través de la fijación de nitrógeno, es crucial. En aguas oligotróficas del Caribe occidental, *Oscillatoria tiebauthii* puede constituir hasta el 90% de la biomasa fitoplanctónica, determinando la estructura y funcionamiento del ecosistema pelágico. Las cianofitas son igualmente dominantes en los medios muy eutróficos de las lagunas costeras.

Las más de 1.000 especies de pirrófitas, mayormente marinas y en especial las dinofíceas o dinoflagelados, constituyen uno de los elementos más diversificados del plancton marino. Son de gran importancia en los medios muy estratificados y oligotróficos de los mares tropicales como el Caribe, para adaptarse a los cuales desarrollan espectaculares formas que retardan su sedimentación y aumentan su capacidad de absorber nutrientes en medios muy diluidos. También desarrollan elevados grados de congeneridad que incrementan notablemente su diversidad; por ejemplo, en una muestra del Caribe occidental pueden encontrarse hasta 100 especies de dinoflagelados, de las cuales 27 especies pertenecen al género *Ceratium* (Tellez *et al.*, 1988).

De las dos clases que agrupan a las crisófitas, las crisofíceas, con 300 especies, son esencialmente de agua dulce; se exceptúan los cocolitofóridos, elementos del nanoplancton que llegan a ser predominantes en el fitoplancton de mares cálidos. Las diatomeas, más diversificadas (5500 especies), se distribuyen en aguas dulces y marinas y algunas en ambas simultáneamente. Componente principal del fitoplancton en mares fértiles no estratificados, revisten importancia, en el Caribe, en cercanía de las costas y en áreas de surgencia. En el medio estratificado dominante en mares cálidos lejos de la costa, la pesada envoltura silíceas propia del grupo determina su rápida sedimentación, por lo cual sólo pocas especies se encuentran representadas en ellos; tal es el caso de grandes especímenes del género *Nitzschia*, más flotantes y asociados con cianofíceas endosimbióticas (*Richellia intracellularis*) para suplir la escasez de nitrógeno asimilable.

Las macroalgas bénticas marinas pertenecen principalmente a las clorófitas, feófitas y rodofitas, más algunas cianófitas. Las algas verdes o clorófitas son uno de los taxa más diversificados, con cerca de 7000 especies fitoplanctónicas y bénticas. Revisiones recientes reducen el número de clorofitas a sólo 1054 especies (Silva, citado en WCMC, 1992). De ellas sólo el 10% son marinas. Para el Atlántico occidental tropical y subtropical se han reportado un total de 1058 especies de macroalgas bénticas (WCMC, 1992) de las cuales 450 se han reportado para Colombia (Bula, 1990). De estas, a su vez, unas 100 especies son clorófitas. Varias tienen usos humanos directos, como alimento, aunque su extendido; las algas verdes son indicadores de contaminación. Uno de los beneficios mayores se relaciona con la deposición de carbonato de calcio por algas calcáreas, como *Halimeda opuntia*, a la cual se debe en alto grado la formación de arenas blancas que hacen tan atractivas a muchas playas en el Caribe.

De las feófitas o algas pardas se conocen 1500 especies casi todas marinas, que incluyen las gigantescas algas llamadas "kelp", de hasta 100 m. de longitud, muy importantes en zonas costeras de los mares templados y fríos. En mares cálidos no se encuentran estas algas enormes aunque las mayores algas tropicales sean también feófitas del género *Sargassum* y afines. Para el Caribe colombiano se han reportado cerca de 60 especies de algas pardas. De ellas, algunas tienen usos potenciales importantes como fuente de sustancias químicas necesarias en la industria farmacéutica y de alimentos. Algunas más son comestibles pero su uso como tales es muy restringido en el Caribe, lo que contrasta con lo que ocurre en sitios como Japón o China, donde son muy apreciadas, hasta el punto que constituyen un cultivo más rentable que el de los camarones o las ostras.

Las rodófitas, con cerca de 4000 especies alrededor del mundo, son el grupo de macroalgas más abundante y diversificado en el trópico americano. En el Caribe colombiano hay alrededor de 270 especies asociadas a todos los ecosistemas costeros, donde cumplen un importante papel como productores primarios y base de cadenas tróficas de las cuales se beneficia el hombre. Al igual que otros grupos de macroalgas, las algas rojas ofrecen múltiples productos

aprovechables por el hombre, entre ellos el ya mencionado agar-agar, fundamental en microbiología.

Las fanerógamas marinas están en general poco diversificadas, ya que corresponden a un grupo reducido de plantas terrestres que volvió al mar. Tienen no obstante gran importancia por crear ecosistemas de elevada productividad a los cuales se asocian muy variados organismos, algunos también de origen terrestre que, como las tortugas y manatíes, son sus principales usuarios. Al respecto ver atrás Praderas de fanerógamas.

4.2 DIVERSIDAD DE CONSUMIDORES ANIMALES

Una primera expresión importante de la diversidad de los animales es la diversidad de sus adaptaciones para el consumo como macro y micrófagos o bien como pastoreadores y detritófagos de las mas diversas categorías: filtradores pasivos y activos, necrófagos destrozadores y moledores, carnívoros, hervíboros, coprófagos, etc. No menos variada es su adaptación a diversas formas de vida y hábitats.

Aquí se hará referencia a la biodiversidad a nivel de especies. La biodiversidad al nivel de especies en la fauna marina es enorme, aún si se usan datos mas bien conservadores como los aportados por Barnes (1980) y que sirven para el presente análisis. Este autor señala la existencia de alrededor de un millón de especies de invertebrados, de los cuales 750.000 serían insectos; ello contrasta con estimativos, quizá exagerados, de hasta 10 millones de especies de insectos por parte de otros autores. Ello debe tenerse presente en el siguiente análisis pues de otro modo la biodiversidad marina podría parecer irrisoria ante los hallazgos crecientes de especies en taxa mas estudiados o ante la tendencia a exagerar en los cálculos de especies de algunos de ellos.

Se parte entonces, y en principio, de que mas del 98% de la biodiversidad animal es de invertebrados, que de ellos un 75% es de insectos y el resto de otros taxa, la mayoría (aprox. 17% del total) marinos. Cabe señalar que de este 17% la tercera parte, esto es mas del 5%, se encuentra concentrada en los arrecifes coralinos (Myers, 1985) que ocupan sólo el 0.29% de la superficie del planeta.

De los grandes taxa animales unos cuantos son exclusivamente marinos. El mas importante de ellos es quizá el filo de los equinodermos, un grupo muy interesante con mas de 6000 especies distribuidas en 5 clases profusamente distribuidas en los mares mundiales. Los ctenóforos, con 50 especies, son otro filo exclusivamente marino. Otros son mayormente marinos: las esponjas, con 5000 especies de las cuales solo 150 de agua dulce y cerca de 500 especies en el Caribe de las cuales se han descrito 89 para Colombia (Zea, 1987); los cnidarios, entre los cuales una sola clase, los antozoarios, tiene 6000 especies marinas; los anélidos, con 8700 especies de las cuales 5300 marinas, principalmente en las clases Poliquetos e Hirudíneos. Mención especial merecen los protozoarios, de los cuales hay mas de 50.000 especies en el planeta, por lo menos la mitad de ellas marinas, y cuyo estudio sigue siendo incipiente.

Los moluscos son, junto con los crustáceos y exceptuando a los insectos, el grupo de invertebrados mas diverso adaptado ante todo a la vida en el mar. Se calculan en unas 100.000 las especies vivientes de moluscos, más del 90% marinas. De los crustáceos, en 8 clases agrupadas en Entomostráceos y Malacostráceos, se reportan mas de 30.000 especies casi todas marinas. En uno y otro grupo hay especies de gran utilidad al hombre, principalmente como alimento, y también unas pocas dañinas o peligrosas.

Dentro de los vertebrados la biodiversidad en especies es elevada, en especial en los peces, si bien relativamente poca si se la compara con la que presentan en tierra donde ocurrió principalmente la evolución y especiación de este grupo; de hecho, muchas de las especies de vertebrados marinos tienen ancestros terrestres.

Analizando datos reportados por Orr (1974) para diversos grupos de vertebrados, se encuentra que, de 20.000 especies de peces en todo el mundo, 15.000 son marinas; en los arrecifes del Caribe habitan 600 especies especialmente adaptadas a tal ambiente (Acero, 1990).

De 6.000 especies de reptiles sólo unos pocos son marinos pero de gran importancia, en especial las tortugas, no sólo por lo que han significado por el hombre sino por encontrarse en peligro de extinción. De ellas se encuentran 6 especies marinas, presentes en el Caribe, donde son sometidas a una intensa presión de caza, aunque por fortuna también se las cultiva y protege cada vez más. Algunas iguanas, como las famosas de Islas Galápagos, cocodrilos

(*Crocodylus acutus*) y serpientes se han adaptado a la vida en el mar, pero ninguna de estas últimas en el mar Caribe.

Las aves son otro grupo muy importante; de 8.700 especies en el mundo, por lo menos 450 especies, pertenecientes principalmente a las Charadriiformes, Pelecaniformes y Procelariiformes, están adaptadas a ambientes marinos y cumplen un significativo papel en la interconexión del mar con los sistemas costeros.

Los mamíferos marinos son sin duda uno de los más apasionantes objetos de estudio de la biología marina. De ellos los cetáceos, a saber ballenas y delfines tienen 38 géneros mayormente marinos; los pinípedos (focas y afines) 20 géneros y los sirénidos (manatíes y dugongos) 3 géneros. Gran parte de ellos se encuentran amenazados.

En el Caribe hay 2 especies de ballenas: *Balaenoptera edeni* y *Megaptera novaeangliae*, muy poco abundantes y como todas las ballenas en riesgo de extinción. Estas ballenas pasan frente a las costas colombianas por el mes de marzo. Los delfines están más diversificados y cumplen un importante papel como predadores superiores en muchos diferentes ecosistemas a los cuales interrelacionan en sus intercambios de materia y energía al migrar entre ellos y beneficiarse de su producción. El principal de ellos en el Caribe es *Physeter macrocephalus*. En las cercanías de Providencia se han avistado delfines muy grandes, de hasta 8m de longitud, de la especie *Globicephala melana*, conocidos como calderones o ballenas piloto.

Pero el caso más dramático entre los mamíferos marinos del Caribe es el de la foca monje del Caribe *Monachus tropicalis*, una de las especies de las cuales se sabe a ciencia cierta que fue extinguida hace menos de 50 años, por cacería indiscriminada. Un riesgo similar corren los manatíes que habitan las lagunas costeras y estuarios y se aventuran ocasionalmente a pastorear en las praderas de fanerógamas marinas, una de ellas bautizada con referencia a ellos *Cymodocea manatorum*. En el Caribe colombiano, a juzgar por la dificultad que se ha presentado para obtener ejemplares que puedan servir para iniciar un programa de reproducción y repoblamiento, los manatíes están virtualmente extinguidos.

El Caribe colombiano está aún muy incompletamente estudiado y lo mismo puede decirse de todo el Caribe. Por eso sería muy riesgoso aventurar conclusiones respecto a distribuciones o endemismos, ya que las presencias o ausencias reportadas no son exhaustivas. Sería muy satisfactorio que este artículo estimulara la investigación y publicación de información y datos sobre la biodiversidad en especies de los diferentes taxa, por parte de los especialistas nacionales y extranjeros que han estudiado los grupos.

5 BIODIVERSIDAD AL NIVEL GENÉTICO Y BIOQUÍMICO

Como se indicó en la introducción, se cree que la biodiversidad a nivel genético y bioquímico en el mar sea mayor que en tierra. Ello obedece a dos factores:

- los taxa superiores exclusiva o mayoritariamente representados en el mar, ya que es de esperar mayores diferencias genéticas y sobre todo bioquímicas entre especies pertenecientes a diferentes filos, divisiones o clases que entre familias o géneros
- hay mayor diversidad genética en las poblaciones marinas (Nevo, 1978; citado en Salm, 1989), por mayor heterocigosis asociada con el mayor tamaño de las poblaciones debido a la relativa homogeneidad del mar (ecotonos más laxos).

De nuevo el caso puede ilustrarse con las algas, de las cuales se distinguen hasta 17 clases a partir de diferencias en la química de sus sustancias de reserva, pigmentos para la fotosíntesis y materiales de la membrana celular ([Tabla 2](#)). Es de esperar que esta diversidad en sustancias fundamentales se refleje en otros componentes de la biomasa algal. Como referencia puede tenerse presente que todas las demás plantas son descendientes de una sola clase, las clorófitas, usan todas como pigmento para la fotosíntesis a la clorofila a, como sustancia de reserva al almidón y tienen celulosa en su pared celular. Otra gran proporción de la biodiversidad terrestre pertenece a una sola clase: los Insectos.

La investigación genética y bioquímica en el mar es incipiente, pero hay optimismo respecto a lo que pueda encontrarse, en especial productos farmacéuticos. El fundamento de la expectativa está en que los mecanismos de defensa de los invertebrados contra infecciones difieren por completo de los de los vertebrados, en especial mamíferos, pero no son menos

exitosos. Se espera que puedan arrojar luces sobre como combatir virus y bacterias, lo cual cobra significativa importancia ante la epidemia de sida. No deja de ser paradójico que parte de las expectativas se relacionen con la abundancia de sustancias tóxicas que algas y animales marinos requieren para defenderse en los ambientes muy competidos del mar y en especial de los arrecifes de coral.

Tabla 2 Diversidad bioquímica en las algas (Modificado de Scagel *et al.*, 1966)

División y Clase	Pigmentos	Productos de almacenamiento	Pared celular
CYANOPHYTA Cyanophyceae	Clorofila a, β -caroteno Flavacina, Luteína, Mixoxantina, Zeaxantina Aloficocianina, c-ficocianina, c- ficoeritrina	Almidón de cianofita (amilopectina a,1-6,1-4 enlaces), cianoficina y otras proteínas no esteroides reportadas	Celulosa Pectina
PYRROPHYTA	Clorofila a, c Diadinoxantina Dinoxantina	Almidón (=amilasa + amilopectina enlace a, 1-4, 1- 6)	Celulosa Pectina
-Dinophyceae	β -caroteno, peridinina		
- Cryptophyceae	a-, e- caroteno, ?zeaxantina, x- c-ficoeritrina		
CRYSOPHYTA	Clorofila a, c, β -caroteno, diadinoxantina, diatoxantina, dinoxantina, flucoxantina	Crisolaminarina (=leucosina; enlace b, 1-3, 1-6) fucoesterol y otros	Celulosa Pectina Puede estar ausente Silicona
- Chrysopyceae	a-caroteno, luteína		
- Bacillariophyceae	a-, e- caroteno		
PHAEOPHYTA - Phaeophyceae	Clorofila a,c; α -, β -caroteno, falvoxantina, fucoxantina, luteína, violaxantina	Laminaria (enlace b, 1-3, 1-6), manitol, fucoesterol y otros	Celulosa Pectina Ácido alginico (algina) Fucoídina
RODHOPHYTA - Rodophyceae	Clorofila a, ?d ; α -, β - caroteno, luteína, ?taraxantina, aloficocianina, b- ,c-,r- ficocianina	almidón florídeo (=amilopectina; enlaces 1-4,1- 6, + A, 1-3) floridosida manoglicerato colesterol fucoesterol, sitosterol	Celulosa pectina varios mucílagos (agar,carragenina xy lanomanano (algunas con calcio o carbonato de magnesio)
XANTOPHYTA	Clorofila a; β -caroteno; xantofilas		
- Xantophyceae	Clorofila ?e	crisolaminarina (=leucosina; b, enlaces 1-3, 1-6), sitosterol	Celulosa Pectina
Chloromonadophyceae		Aceite	En general asuyente
EUGLENOPHYTA - Euglenophyceae	Clorofila a, b; β -caroteno, anteraxantina, astaxantina, neoxantina	Paramilon (=paramilon; b, enlace 1-3), ergosterol	En general asuyente ?pectina

Otros temas de interés son los mecanismos antiinflamatorios, los antibióticos y los pesticidas, en los cuales hay avances notables y diversas sustancias en experimentación. Un campo mas se relaciona con la experimentación médica utilizando especímenes marinos que, por ejemplo con la medusa *Aequorea*, ha permitido detectar cambios en concentraciones de calcio indetectables por medios químicos convencionales, lo que ha permitido grandes avances en el estudio del metabolismo cardíaco de este mineral.

Cabe destacar que en los Estados Unidos se creó un laboratorio para la investigación farmacológica del mar (SeaPharm) cuya principal área de investigación son los arrecifes coralinos de Australia y el Caribe; trabaja en colaboración con un instituto especializado,

Harbor Branch Oceanographic Institution, que destina a este fin un "convoy de pequeños submarinos de investigación". Roche creó un laboratorio similar en la Gran Barrera Arrecifal australiana.

Ello es quizá una medida de la importancia que se otorga a la biodiversidad marina en otras latitudes y de las expectativas al respecto. En tres años, SeaPharm ha experimentado 11000 productos, 5 de los cuales presentan actividad antipatológica, lo cual es una proporción alta si se compara con los aislados de organismos terrestres (Wallace, 1992). "La necesidad de nuevos y potentes fármacos ...es evidente. Y sin duda el suelo marino es el sitio mas factible donde buscarlos" "En esas aguas hay inmenso número de plantas y animales que ni siquiera hemos comenzado a estudiar".

COMENTARIO FINAL

El mar reserva inmensas sorpresas a quienes se aventuren a estudiar su biodiversidad, como se espera haber demostrado con esta primera y aún muy incompleta aproximación. Se aspira a que ella pueda generar algún interés por la exploración del tema y despierte inquietud sobre lo que el Océano Global representa como patrimonio de la humanidad y como soporte de los equilibrios básicos del planeta y de parte sustancial de su riqueza biológica. Algunos de los ecosistemas marinos mas ricos están en muy grave peligro y se requieren acciones decididas en su defensa. Quizá empezar por entender su enorme importancia sea el primer paso en tal sentido.

BIBLIOGRAFIA

- Aceró, A. 1990. Fauna marina. *En*: Caribe Colombia. Fondo FEN- Colombia. Bogotá.
- Barnes, R. 1980. Invertebrate zoology. Sanders College. Philadelphia.
- Birkeland, Ch. 1990. Caribbean and Pacific coastal marine systems: similarities and differences. *Nature and Resources* 26 (2): 3 -12. UNESCO. París.
- Bula, G. 1990. Macroflora marina. *En*: Caribe Colombia. Fondo FEN - Colombia. Bogotá.
- Castellvi, J. *et. al.* 1972. Ecología Marina. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas.
- Halffter, G. y Ezcurra, E. 1992. Que es la biodiversidad?. *En*: Halffter, G. (*comp.*) 1992. La diversidad biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana: volumen especial* 1992.
- Mann, K. H. 1989. Ecology of coastal waters. *Studies in Ecology* 8. Univ. of California Press. Berkeley and Los Angeles.
- Margalef, R. 1972. Biogeografía histórica. *En*: Castellvi, J. *et. al.* 1972. Ecología Marina. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas.
- Margalef, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega. Barcelona.
- Márquez, G. 1987. Las islas de Providencia y Santa Catalina: ecología regional. Fondo FEN Colombia. Bogotá.
- Márquez, G. 1990. Ecosistemas Marinos. *En*: Caribe Colombia. Fondo FEN - Colombia. Bogotá.
- Márquez, G. 1992. Deterioro ambiental y desarrollo sostenible en la Ciénaga Grande de Santa Marta. *En*: Márquez, G. y González, E. (*Eds.*), 1992. Desarrollo sostenible en la zona costera del Caribe colombiano. OEA - COLCIENCIAS - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Myers, N. (*Coord.*), 1985. El Atlas Gaia de la gestión del Planeta. Hermann Blume. Madrid.
- Orr, R. 1974. Biología de los vertebrados. 3ª. Ed. Interamericana. México.
- Prahl, H. V. y Erhardt, H. 1985. Colombia. Corales y Arrecifes Coralinos. FEN - Colombia. Bogotá.
- Prahl, H. v. 1988. Arrecifes del Caribe. Villegas Editores. Bogotá.
- Salm, R. (*Ed.*) 1982. Marine Protected Areas: a guide for planners and managers. IUCN.
- Scagel, R.F., Bandoni, R.J., Rouse, G.E., Schofield, W.B., Stein, J.R. y Taylor, T.M.C. 1966. An evolutionary survey of the plant kingdom. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, California.
- Schumacher, H. 1978. Arrecifes coralinos. Omega. Barcelona.
- Téllez, C., Márquez, G. y Castillo, F. 1988. Fitoplancton y ecología pelágica en el Archipiélago de San Andrés y Providencia. Bol. Cient. CIOH 8: 3 - 26. Cartagena.
- Thorson, G. 1971. La vida en el mar. Ed. Guadarrama. Madrid.
- Wallace, J. 1992. La farmacia de Neptuno. Revista MD 1 (7): 25 - 33 Puerto Rico.
- WCMC (World Conservation Monitoring Centre). 1992. Global Biodiversity. Chapman and Hall. London.
- Zea, S. 1987. Esponjas del Caribe Colombiano. Ed. Catálogo Científico. Bogotá.