

COORDINACIÓN GENERAL:

Lic. Maida Montolio Fernández. Vicedirectora Científica. Investigador Auxiliar. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. María de los Ángeles Serrano. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.

COLABORADORES:

MSc. Lourdes Pastor Gutiérrez. Investigador Agregado. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. María de los Ángeles Ginori Gilkes. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. Grisel Bravo González. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. Armando Olaechea Juárez. Investigador Titular. Acuario Nacional de Cuba.
Jorge Abraham Matos Zulueta. Acuario Nacional de Cuba.
Jorge Lázaro Álvarez Pérez. Acuario Nacional de Cuba.
Rolando Rodríguez Atá. Diseñador. Acuario Nacional de Cuba.
Rafael Mesa. Fotógrafo. Acuario Nacional de Cuba.

AUTORES PRINCIPALES:

Dr. Julio Baisre Álvarez. Director de Regulaciones Pesqueras. Ministerio de la Industria Pesquera.
MSc. Guillermo García Montero. Investigador Titular. Director. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. Marleny González Ruiz. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Dr. Gaspar González Sansón. Profesor Titular. Centro de Investigaciones Marinas.
MSc. Roberto Guerra García. Especialista. Instituto de Oceanología.
MSc. Marcelino Hernández González. Investigador Agregado. Instituto de Oceanología.
Dr. Manuel Iturralde Vinet. Profesor e Investigador Titular. Museo Nacional de Historia Natural.
MSc. Francisco Montalvo Estévez. Investigador Agregado. Instituto de Oceanología.
Ing. Marivel Pérez Pérez. Investigador Agregado. Geocuba. Agencia de Cartografía Náutica.
MSc. Libertad Rodas Fernández. Investigador Agregado. Instituto de Oceanología.
MSc. Servando Valle Gómez. Investigador Titular. Centro de Investigaciones Pesqueras.
Lic. Antonio Villasol Núñez. Director. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas.

COAUTORES:

MSc. Susana Álvarez Capote. Investigador Auxiliar. Centro de Investigaciones Pesqueras.
Lic. Jesús Manuel Beltrán González. Investigador Auxiliar. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas.
MSc. Hansel Caballero Aragón. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Ing. Vladimir Caballero Camejo. Especialista. Instituto de Oceanología.
Lic. Antonio Luis Cárdenas Enríquez. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Dra. Liuba Chabalina. Profesor Titular Adjunto. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas.
Ing. María Elena Chávez Marrero. Especialista. Instituto de Oceanología.
MSc. Georgina Díaz Llanes. Especialista. Red Mareográfica Nacional - Agencia Geocuba Geodesia.
Lic. Leonel Espinosa Díaz. Investigador Auxiliar. Centro de Investigaciones Pesqueras.
MSc. Rolando Feitó Sarduy. Director. Geocuba. Agencia de Cartografía Náutica.
Lic. Yanet García Hernández. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. Esperanza González Hernández. Investigador Agregado. Acuario Nacional de Cuba.
MSc. Patricia González Díaz. Instructor. Centro de Investigaciones Marinas.
Dr. Manuel Iturralde Vinet. Profesor e Investigador Titular. Museo Nacional de Historia Natural.
Lic. Ma. Estela de León González. Investigador Titular. Centro de Investigaciones Pesqueras.
Lic. Edenia Machín González. Especialista. Geocuba. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia.
MSc. Martha Martínez Canals. Investigador Auxiliar. Instituto de Oceanología.
Dra. Ida Mitrani Arenal. Investigador Titular. Instituto de Meteorología.
MSc. Félix Palacios Pérez. Especialista. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas.
Lic. Aneisy Pérez Hernández. Aspirante a Investigador. Acuario Nacional de Cuba.
MSc. Roberto Pérez de los Reyes. Director. Instituto de Oceanología.
Iván Ernesto Pérez Santos. Especialista. Centro de Investigaciones Pesqueras.
MSc. Rafael Puga. Investigador Titular. Centro de Investigaciones Pesqueras.
Lic. Lourdes Rivas Rodríguez. Especialista. Instituto de Oceanología.
Lic. Niurka Rivera Baró. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
Lic. Jennifer Ravelo Rodríguez. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.
MSc. Iván Sosa Chongo. Especialista. Geocuba. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia.
Lic. Mireya Sosa. Investigador Auxiliar. Centro de Investigaciones Pesqueras.
Dra. Ana María Suárez Alfonso. J' Dpto. Docente. Centro de Investigaciones Marinas.
Lic. Galia Varona Trujillo. Especialista. Acuario Nacional de Cuba.

Í N D I C E

INTRODUCCIÓN / 3**1. MARES Y OCÉANOS / 3**

- 1.1 Generalidades e importancia / 3
- 1.2 Origen de la Tierra y los océanos / 3
- 1.3 Origen y evolución del Caribe y sus biotas / 5
- 1.4 Características actuales del Archipiélago Cubano / 6
- 1.5 Fuentes hidrotermales profundas / 6

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAR / 8

- 2.1 Fenómenos y procesos químicos y físicos / 8
- 2.2 Clima y océano / 12

3. LA VIDA EN EL MAR / 14

- 3.1 Diversidad biológica marina y ecosistemas marinos / 14
- 3.2 Recursos pesqueros / 18
- 3.3 Causas y consecuencias de la contaminación en el mar / 22
- 3.4 Sedimentos oceánicos y playas / 24
- 3.5 Hidrografía y cartografía náutica / 25

4. LA ZONA COSTERA Y SU MANEJO INTEGRAL / 26

- 4.1 Definiciones y realidades. Estrategias actuales y futuras / 26
- 4.2 Instituciones científicas: Objetivos y resultados / 29
- 4.3 Ciencias marinas y educación ambiental / 29

AGRADECIMIENTOS:

A todos los especialistas y trabajadores de las instituciones vinculadas a las ciencias marinas y en particular a los hombres de mar que sustentan con su sabiduría popular los conocimientos sobre el mar y sus recursos.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Burker, et al. (2001): *Análisis Piloto de Ecosistemas Globales: Ecosistemas Costeros*, World Resources Institute, Washington, D.C., 93 pp.
Colectivo de autores (2001): *Introducción al conocimiento del Medio Ambiente*, tabloide del curso Universidad para todos, Editorial Academia, La Habana, 32 pp.
García Montero, G. (2000): *Manejo Integrado de Zonas Costeras: Desafío del Siglo XXI*. Memorias del 5to. Congreso de Ciencias del Mar, MARCUBA, 2000, La Habana (CDRoM).
Hernández, M., P. Parrado y M. Izquierdo (2000): *Preliminary considerations on the probable impact of sea level rise and water temperature in some localities of the coastal zone of the Cuban archipelago. Climate Change Impacts and Responses*. Proceedings of the Conference on National Assessment Results of Climate Change, Edited by Nobuo Mimura, Printed by the Japan Environment Agency and Overseas Environmental Cooperation Center, pp. 183-202.
Hernández, M. y G. Díaz (2002): Algunas consideraciones sobre la variabilidad de la componente sinóptica del nivel del mar en el Golfo de Batabanó, *Serie Oceanológica*, Vol. 0, No. 1.
Humann, P. (1999): *Guía de invertebrados del Caribe*, Grupo Editorial M/G Difusión, Alicante, España, 321 pp.
IPCC (1996): Segunda Evaluación Cambio Climático - 1995. Informe del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático. OMM, UNEP, PNUMA, 71pp.
Mandelli, E. (1988): *Recomendaciones para el monitoreo de la calidad de aguas costeras*. Proyecto Regional de Cooperación en la Gestión Ambiental de Bahías y Zonas Costeras en el Gran Caribe. PNUMA/UNESCO CR/5102-87-07. México.
Melo González, N. et al. (1999): Near-surface phytoplankton distribution in the western Intra-Americas Sea: The Influence of El Niño and weather events. *Journal Geophysics Research JGR*, USA, Vol. 105, No. C6, p.14.

GRUPO DE EDICION EDITORIAL ACADEMIA

Edición: Lic. Hermes Jesús Moreno Rodríguez

Diseño y tratamiento de imágenes: Marlene Sardiña Prado

Corrección digital: Anyer Milián Valdés



INTRODUCCION

El hombre no está preparado para vivir bajo el agua, a menos que se auxilie de costosas tecnologías, por ello, ha tardado mucho más tiempo en develar los secretos del mar, que adentrarse en el conocimiento de los fenómenos terrestres.

En 1872 científicos británicos a bordo de un antiguo navío de guerra, la corbeta *HMS Challenger*, emprendieron un viaje por los mares del mundo que concluyó en 1876. Provisos de largos cables de acero y miles de frascos de cristal colectaron 4 000 especies marinas hasta entonces desconocidas, se compilaron valiosas informaciones sobre la temperatura, las corrientes y sobre la topografía de los fondos de las principales cuencas oceánicas. Este viaje fue el preámbulo del conocimiento de los océanos, marcó el inicio de la Oceanografía como ciencia independiente e integró a esta la Física, la Química, la Geología, la Geofísica y la Biología Marina, entre otras. Por ello, indistintamente, también se emplean los términos de Oceanografía Física, Química y Biológica.

El avance de la ciencia ha incluido, por supuesto, al mar y para ello ha tenido que asumir grandes retos tecnológicos, ya que, además de la complejidad que requieren los sistemas que se conciben, deben tenerse en cuenta, la resistencia a la corrosión y los efectos de las altas presiones en las grandes profundidades marinas.

A partir de la expedición del *Challenger* la tecnología y las ciencias oceánicas han avanzado espectacularmente, y es de suponer, que continúen desarrollándose en las próximas décadas, de hecho se han incorporado ya los medios de observación, la computación y los registros de datos. Estos avances permiten que en una hora pueda recopilarse más información que la que obtuvo el *Challenger* en cinco años de expedición. Al respecto se podrían citar algunos ejemplos:

- El uso de los satélites para identificar tendencias ambientales, climáticas y atmosféricas; la localización de manchas de atunes, tiburones, otros peces y mamíferos marinos; y mediante sensores, la descripción de sus movimientos migratorios y la conducta de sus especies.
- Los *altímetros* registran las profundidades y el relieve de los fondos marinos con increíbles precisiones.
- Los *radiómetros* miden la temperatura del agua con exactitudes del orden de los 0,25 °C e identifican la transferencia de calor entre el océano y la atmósfera.
- Los programas de observaciones colectan datos y fotografías a color de alta resolución sobre la clorofila, la transparencia del agua y los materiales sólidos en suspensión, lo que permite el monitoreo a distancia de la calidad del agua.

En este nuevo milenio la interrelación hombre-océano ha entrado en una etapa definitoria debido al peligro potencial que acecha al mar y sus recursos, por ello se requiere que el nivel científico global que hoy existe en función del océano y la atmósfera, propicie nuevas y más estrechas relaciones entre las ciencias marinas y sociales, y se refuercen los vínculos entre investigadores, planificadores, administradores y ciudadanos; con el fin de promover la gestión efectiva e integrada de los océanos, mares y zonas costeras en beneficio de la especie humana.

Antes de iniciar el fascinante estudio de los mares y océanos es imprescindible reconocer el aporte que, en las ciencias naturales y marinas, han brindado relevantes figuras, entre las que se destacan de manera especial, A. Parra, Felipe Poey y Aloy, J. C. Gundlach, J. Cuvier, C. de la Torre y M. S. Roig, por mencionar algunos, y en particular, el Dr. Darío Guitart Manday, profesor de varias generaciones de biólogos cubanos y promotor de las ciencias marinas en Cuba durante la segunda mitad del siglo pasado.

Sirva, pues, este curso de *El mar y sus recursos* para resumir los principales conocimientos que el hombre ha alcanzado en esta materia, para incentivar la res-

ponsabilidad individual y colectiva que tenemos ante el uso y la conservación del medio marino, y para contribuir al desarrollo cultural e integral de nuestro pueblo.

1. MARES Y OCÉANOS

1.1 Generalidades e importancia

Las referencias indican que los primeros cosmonautas que salieron al espacio expresaron: "nuestro planeta es azul", basándose, principalmente, en la percepción que recibían a esa distancia sobre la proporción relativa de tierras y mares, al estar, casi las tres cuartas partes de la superficie del planeta, cubierta por cuerpos de agua.

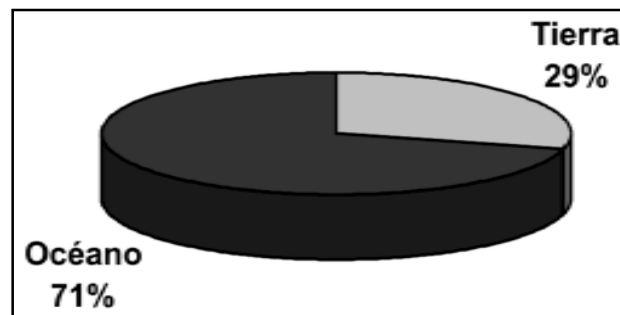


Fig.1 Proporción tierra-mar del planeta.

Desde la época primitiva el hombre comenzó a hacer uso del mar como fuente de alimentos, luego introdujo la navegación, inicialmente con rústicas embarcaciones que, con el decursar del tiempo, fueron reemplazadas por otras de mayor complejidad, propiciando el actual e importante tráfico marítimo.

La extracción de alimentos, como elemento de supervivencia inicial, dio paso a una poderosa y calificada industria pesquera dotada de refinadas tecnologías. El uso y explotación del mar y sus recursos, con el propio desarrollo del hombre, comenzó a transcurrir a un ritmo sin precedentes, asociándose al desarrollo urbano e industrial y al crecimiento experimentado de la población mundial. A estas actividades se sumaron la extracción de petróleo, arenas y otros minerales del lecho marino, así como la explosión turística vinculada al uso de las playas y zonas costeras para satisfacer las necesidades siempre crecientes del ser humano.

Pocas personas reflexionan acerca de nuestra dependencia de los océanos, subestimando o desconociendo su valor, a pesar de que, dos de cada tres grandes ciudades del mundo están situadas a lo largo de la costa, y más de 2 000 millones de personas viven dentro de la franja de los 100 km del litoral.

No puede evaluarse la importancia del océano, excluyendo el factor económico que representa, la característica de que los depósitos de petróleo y gas en el lecho de los océanos aportan la cuarta parte de la producción anual, y que 90% del comercio mundial se realiza por vía marítima.

Paralelamente, desde hace cientos de millones de años, el océano constituye el hogar de gran variedad de especies, ya que 32 de los 33 grupos zoológicos del planeta están representados en el mar (solamente ausentes los insectos), 15 de estos grupos son exclusivamente marinos y 5 viven predominantemente en el mar, esto consolida su valor cuando se trata la diversidad biológica.

En las profundidades oceánicas los científicos, hace relativamente poco tiempo, descubrieron formas de vida asociadas a géiseres submarinos, lo cual ha complementado los conocimientos sobre el origen de la vida en el mar, y, por supuesto, también ha dado paso a interesantes polémicas.

Algunas personas, gustosas de identificar valores, argumentan que los servicios brindados por el océano ascienden a un millón de millones de dólares anuales, pero es mejor referir que el océano es invaluable, ya que "sin el océano, la vida dejaría de existir".

Si se preguntara *¿qué es para usted el mar?* muchas respuestas serían: disfrutar, recrearse, viajar en barcos, practicar deportes náuticos, y ¿por qué no? el complemento ideal para una espléndida puesta o salida del Sol. Sin embargo, estos puntos de vistas psicológicos, estéticos y espirituales del hombre, junto a los ya referidos económicos y sociales, reiteran que los valores de los mares y océanos son incalculables.

Algunos datos de interés

- El 71% de la superficie terrestre (más de 361 millones de kilómetros cuadrados) está cubierta por los océanos.
- El volumen de los océanos es de 1 348 Km³.
- El 70% del oxígeno de la atmósfera del planeta se produce en los océanos.
- El 78% del pescado de consumo mundial procede del mar.
- Quinientos millones de personas están empleadas en labores relacionadas con los recursos marinos y costeros, de ellos 200 millones en la industria pesquera.
- Dos tercios de la población mundial viven en una franja de 100 Km de la línea de costa.
- El 65% de las ciudades del mundo están localizadas en la costa.
- Las pesquerías mundiales han alcanzado valores superiores a los 100 millones de toneladas en los últimos años.
- Cada año se vierten al mar cientos de miles de toneladas de hidrocarburos de petróleo y 66 000 millones de metros cúbicos de desechos industriales.
- La flota marítima mundial está compuesta por unos 37 000 barcos.
- El 90% de la actividad volcánica del planeta ocurre en los fondos oceánicos.
- En Cuba, una isla larga y estrecha, prácticamente todos sus habitantes viven relativamente cerca del mar, y también desde la época primitiva hacen uso de él.

1.2 Origen de la Tierra y los océanos

El hombre siempre se ha preguntado acerca del origen del mundo donde vive, de su forma y de su creación. Durante siglos le resultaba inexplicable, ya que no había alcanzado un mínimo de conocimientos que le permitieran descubrir tal enigma. Múltiples fueron las teorías fantásticas, desde que la Tierra era plana y se sostenía sobre cuatro elefantes, los que a su vez estaban sobre una enorme tortuga (teoría elaborada en la India); pasando por los griegos con su creencia de que nuestro planeta lo sostenía el gigante Atlas, castigado por su rebelión contra Zeus; y por supuesto, la concepción bíblica de la creación del mundo por Dios a partir de la nada.

La ciencia, una vez más, ha desplazado la frontera del conocimiento de los ámbitos especulativos de antaño, dejando un amplio panorama de conceptos e hipótesis y las valiosas herramientas para juzgar y desarrollar opiniones propias.

Actualmente la definición más aceptada y popular del surgimiento del universo y de la Tierra es la del *Big Bang*, cuya traducción es "gran explosión", reafirmada en la década de los años cuarenta por el astrónomo Fred Hoyle. Esta se basa, fundamentalmente, en acontecimientos físicos relacionados con la expansión del universo, las cantidades relativas de hidrógeno y helio existentes, y las radiaciones térmico-cosmológica de una masa de sólidos y gases imperante.

Pasaron cientos de miles de años a partir de esa gran explosión, para que el choque entre las partículas elementales disminuyera y durante estos, la tempera-

tura descendiera gradualmente y la velocidad de expansión de la materia se hiciera cada vez menor. Los fragmentos del incipiente "huevo cósmico" se diseminaban en todas direcciones, se fueron condensando y formaron lo que hoy son las galaxias, las estrellas, los planetas y todo el conjunto de cuerpos celestes del universo.

Comenzaron entonces a diferenciarse, como parte de los fenómenos físicos concurrentes, la fuerza de gravedad y las fuerzas nucleares, y durante un período de cientos de miles de millones de años la materia comenzó a acumularse en los sistemas solares. Uno de ellos fue el nuestro, con una "protoestrella" en su centro y cuya formación data de hace unos 5 000 millones de años. Los planetas quedaron a diferentes distancias de esa estrella, y su campo gravitatorio atrajo «restos de materia espacial» aumentando su masa.

Los procesos de desintegración radioactiva y la energía liberada por los impactos de materia de un espacio en constante movimiento, elevó la temperatura de la tierra y los mares que comenzaban a diferenciarse, con una capa exterior que se enfriaba y un núcleo interior que incrementaba su temperatura. Los impactos espaciales que se producían sobre la superficie del incipiente planeta Tierra y el comienzo de los primeros fenómenos volcánicos, liberaron grandes masas de vapor de agua, anhídrido carbónico, metano, amoníaco y otros gases hacia una atmósfera en pleno desarrollo. En esos momentos el agua existía solo en estado de vapor y nubes muy espesas cubrían el planeta.

Tras el enfriamiento de la corteza terrestre se originó una atmósfera primitiva, y a su vez los volcanes mantenían su erupción expulsando lava y cenizas, grandes cantidades de dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y compuestos sulfurados. Durante miles de millones de años, la Tierra continuó enfriándose interna y externamente, produciendo la condensación de la envoltura de vapores y gases, que se precipitaron en forma líquida, junto con el vapor que salía de su interior, así nacieron los cuerpos de agua que dieron origen a los océanos hace aproximadamente unos 4 500 millones de años.



Fig. 2 Actividad volcánica al inicio de la formación del planeta.

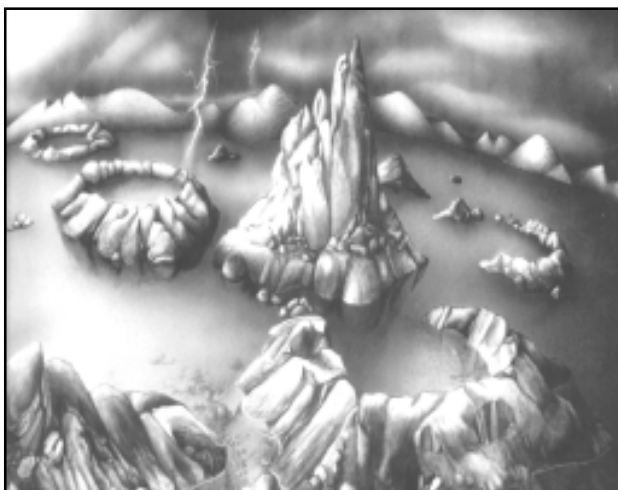


Fig. 3 Formación de los océanos.



Fig. 4 Estructura rocosas cercanas a Australia que muestran fósiles.

En 1969 un meteorito impactó cerca de Allende, México, el análisis del mismo y de otros similares indicó la presencia de *aminoácidos* (componentes fundamentales de las proteínas). Surgió así la hipótesis de que la vida se había originado en el espacio exterior, y llegó a la Tierra a partir de los cometas y meteoritos que sobre ella impactaban. Sin embargo, los aminoácidos recobrados de estos cuerpos celestes se clasifican como exóticos en la actualidad, y se diferencian de los que existen en los organismos vivientes actuales.

En 1922, el científico ruso A. I. Oparin propuso la hipótesis de que la vida celular estuvo precedida por un complejo período de evolución química, y que bajo las condiciones imperantes surgieron moléculas que se reproducían y metabolizaban la vida primitiva.

Los fósiles más antiguos provienen de rocas marinas formadas en el antiguo océano, y los organismos actualmente vivientes con mayores semejanzas a las formas antiguas (registradas en esos fósiles) son las *Archaeobacterias*. Estas, junto a otras, viven hoy en las áreas circundantes a las fracturas del fondo oceánico (*fuentes hidrotermales o fumarolas*), donde las temperaturas son extremadamente altas. De este tema se aportará mayor información más adelante.

A partir de las evidencias referidas, se puede definir que el origen de la vida en la Tierra fue el resultado del enfriamiento de la corteza terrestre primitiva y la formación de la atmósfera y los océanos.

Algunas características que diferencian a los sistemas vivientes de los sistemas físicos y químicos

- Capacidad de reproducción y presencia de material genético hereditario (ADN).
- Evidencias del ARN como primer ácido nucleico formado.
- Presencia de enzimas, otros complejos y membranas moleculares esenciales para los procesos metabólicos.

Historia de la corteza terrestre

Desde el momento en que aparecieron los primeros organismos vivos, se inició un proceso de interacción permanente entre los *elementos bióticos y abióticos* (organismos vivos y factores físico-químicos respectivamente), de ahí que la comprensión de la historia de la *biosfera* va estrechamente ligada a la historia de la

corteza terrestre, para cuyo estudio los geólogos han dividido el tiempo en diferentes eras que conforman el esquema explicativo de la evolución de la vida.

Es imprescindible dedicarle un espacio a la llamada "cara oculta de la Tierra" y reflexionar acerca del grandioso paisaje de montañas, volcanes, llanuras erizadas de picos como cúspides de catedrales, valles profundos y fosas abruptas que existen bajo el mar, claves para comprender la historia de la Tierra.

Los geólogos han dado el nombre de *manto superior* a la parte externa del planeta, de un espesor aproximado de 700 km, que tiene la particularidad de poseer la misma composición química y una densidad superior a la de las rocas emergidas.

A medida que se profundiza en este manto la temperatura aumenta, y a partir de 100 km de profundidad la elevación de la temperatura propicia que los materiales terrestres tengan cierta fluidez, esto permite el deslizamiento del manto por las presiones de la capa inmediata superior y justifican la diferencia entre los fondos marinos y los continentes.



Fig. 5 Esquema del mapa del fondo oceánico.

Teoría de la tectónica de placas

Los geofísicos fueron los más asiduos críticos de la hipótesis de deriva continental, sin embargo hoy la de mayor contundencia ha sido también de perfil geofísico. En la década de los años treinta, el japonés Wadati fundamentó la relación entre los procesos sísmicos y los continentes. Al mismo tiempo el sismólogo H. Benioff resaltaba que las zonas de alto riesgo sísmico no estaban tampoco distribuidas de manera uniforme en el planeta, sino que éstas se alojaban en fajas más o menos continuas asociadas a algunos márgenes continentales.

Después de la Segunda Guerra Mundial, con el desarrollo de la oceanografía, se documentó la presencia de enormes cadenas montañosas submarinas en medio del Atlántico norte, estas se levantaban a 2 000 m de altura sobre abismos de 4 000 m de profundidad. En la década de los años sesenta, el geofísico H. H. Hess consolidó la hipótesis de la deriva continental basándose en la topografía de los océanos, explicó que las rocas de los fondos marinos estaban firmemente ancladas al manto donde subyacían, y que cuando dos enormes masas de manto se apartaban, acarrearán el fondo oceánico y surgía de las profundidades terrestres material fundido que formaba una cadena volcánica que rellenaba el vacío creado por la separación de los fondos oceánicos. Hess razonó que, para evitar un crecimiento indefinido de la Tierra era necesario que en alguna parte de ella fuera consumido material cortical, propuso que los sitios donde esto ocurría eran las profundas fosas oceánicas que bordeaban algunos continentes y arcos de islas.

En 1963, los geofísicos ingleses F. Vine y D. Matthews, consolidaron la hipótesis reportando las anomalías de las mediciones magnéticas de los fondos marinos del sur de Islandia, las cuales coincidían

con los patrones simétricos del eje de la cadena montañosa del fondo marino. De esta manera se propuso que la anchura de las franjas magnéticas debía corresponder con la velocidad de separación de las placas internas del planeta, surge así la teoría de la tectónica de placas.

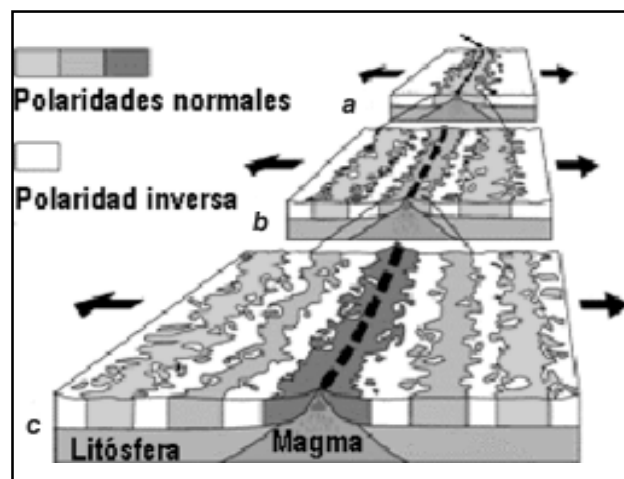


Fig. 6 a, b y c Movimiento de las tectónicas de placas.

1.3 Origen y evolución del Caribe y sus biotas

Las biotas del Caribe evolucionaron al mismo tiempo que evolucionó el propio Caribe como un mar mediterráneo entre las americas del norte y del sur. Las corrientes marinas, que generalmente fluyeron de este a oeste a través del Caribe, a veces fueron interrumpidas por barreras terrestres de relativamente corta duración (1-3 Ma). En el Cuadro 1 se destacan los principales eventos desde el origen del Caribe hasta la actualidad.

Cuadro 1. Principales eventos desde el origen del Caribe hasta la actualidad

Etapa y Duración	Eventos Principales
Fracturación de Pangea y origen del Caribe (200-160 Ma)	La fracturación del continente Pangea origina un canal oceánico que se extiende de este a oeste, del cual el mar Caribe constituye su porción occidental. En el Caribe primitivo habitan invertebrados, peces y reptiles marinos, ninguno de los cuales tiene descendientes en la biota actual.
Evolución del Caribe I (160-65,1 Ma)	En el mar Caribe habitan numerosas especies de animales y plantas acuáticas, la mayoría de las cuales no tienen descendientes en los mares actuales. Eventualmente aparecen islas volcánicas de distinta magnitud.
Catástrofe ambiental (65 Ma)	La Tierra es interceptada en su órbita por un bólido espacial de grandes dimensiones, que impactó, en la península de Yucatán provocando una crisis ambiental global y la muerte de muchas poblaciones. En el Caribe el efecto es mayor, de modo que probablemente toda la biota terrestre es extinguida, y una gran parte de la biota marina, sino toda.
Evolución del Caribe II (64,9-35 Ma)	Las aguas del Caribe se repueblan de nuevo con una biota más moderna, que evoluciona con los cambios climáticos y geográficos que se suceden. Las corrientes marinas oscilan entre el Atlántico y el Pacífico a través del Caribe, con breves interrupciones. Los organismos marinos son semejantes a los que habitan los mares actuales.
Primeras poblaciones resistentes antillanas (35 - 2,5 Ma)	El Caribe presenta una biota mucho más moderna y surgen y se desarrollan en extensión los arrecifes coralinos y sus comunidades. Hay una libre comunicación entre el Atlántico y el Pacífico.
El Caribe actual (2,5 - 0 Ma)	El mar Caribe se aísla del Pacífico, por el surgimiento del Istmo de Panamá hace 3,5 Ma. Desde entonces se alimentan solamente de las corrientes procedentes del Atlántico ecuatorial y las biotas tienden a crecer en endémicas.

El Mar Caribe tiene una antigüedad de unos 160 millones de años. Antes no existía, y el lugar que ocupa hoy entre América del Norte y América del Sur entonces estuvo situado en el interior de Pangea, un supercontinente que existió durante la primera mitad de la era mesozoica. Aquella gran masa terrestre comenzó a fracturarse 200 millones de años atrás, y así se formó un estrecho canal acuático que con el tiempo se fue ensanchando hasta alcanzar sus dimensiones presentes.

Al principio lo que es hoy el Caribe estaba poblado por plantas acuáticas y pequeños invertebrados (ostréidos, pectínidos, braquiópodos y foraminíferos), pero según se ampliaba aquel canal, algunos animales mayores tales como peces, ammonites y belemnites comenzaron a poblarlo. Esto ocurrió hace 160 a 150 millones de años. Ya hace 150 millones de años el Caribe era una amplia extensión marina que servía de comunicación a dos océanos, el Atlántico norte y el Pacífico.

Siguiendo las corrientes marinas que fluían de este a oeste, tras los ammonites y peces, llegaron los reptiles gigantes que se alimentaban de ellos. Así las costas del Caribe se poblaron de tortugas acuáticas (*Caribemys oxfordiensis*) y reptiles voladores como los pterosaurios (*Notosaurus hespericus*, y otros), y en el mar abierto dominaban los pliosaurios como el gigantesco *Peloneustes*, cocodrilos oceánicos como el *Geosaurus*, plesiosaurios de cuello largo como el *Vinalesaurus caroli*, y los nadadores de mayor velocidad como los ictiosaurios de tipo *Ophthalmosaurus*.

Los pobladores de los mares jurásicos venían migrando desde un océano llamado Tethys, ya desaparecido, situado entonces en lo que es hoy Europa y el Océano Índico. En su movimiento los reptiles marinos se desplazaban por el Caribe y llegaban a las costas americanas del Océano Pacífico.

Todo esto se sabe gracias a sus restos fósiles que se encuentran en los terrenos que hoy abarcan Inglaterra, Francia, España, el norte de África, Cuba, América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América y Estados Unidos Mexicanos), y América del Sur (Argentina y Chile). En Cuba estos fósiles se encuentran en el hermoso paisaje montañoso conocido como Sierra de los Órganos, sobre todo en el Valle de Viñales y sus alrededores.

El estudio de aquellos restos fósiles ha permitido alcanzar importantes resultados. Hoy se conoce que los más temibles predadores del jurásico eran los *Peloneustes* y los *Geosaurus*. Estos se alimentaban de la carne de los reptiles más pequeños, así como de los

abundantes peces que pululaban en aquellas aguas. También los pterosaurios, *Vinalesaurus*, y peces se alimentaban unos de otros, sobre todo de las presas fáciles, como eran los juveniles y enfermos. Sin embargo, había peces que se alimentaban de los ammonites, para cuyo fin sus mandíbulas estaban

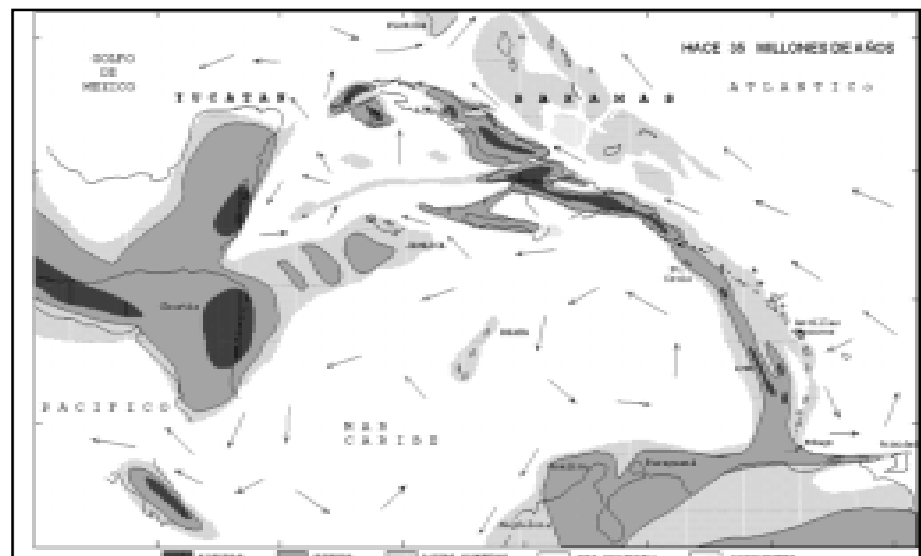


Fig. 7 El Caribe hace 35 millones de años.

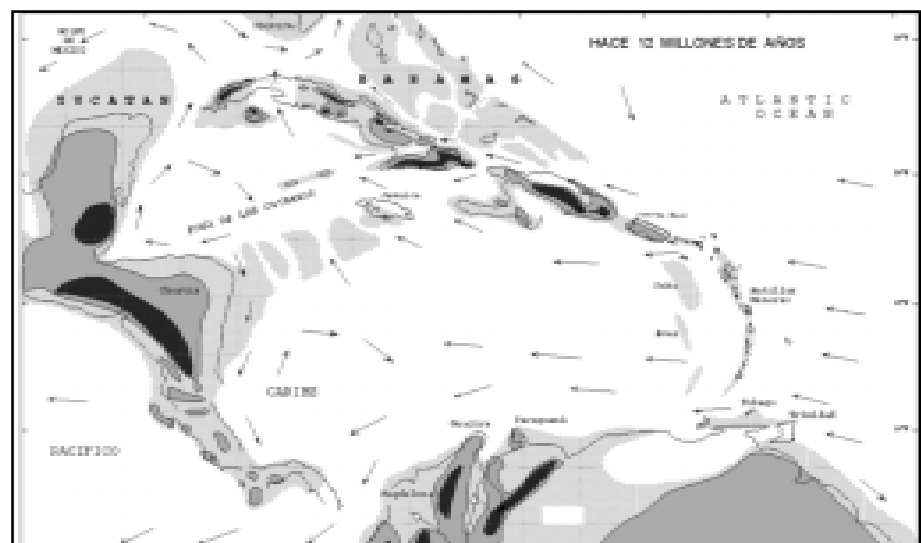


Fig. 8 El Caribe hace 12 millones de años.

dotadas de fuertes dientes romos, que les servían para fracturar las conchas de aquellos moluscos.

En el cretácico las biotas marinas se diferenciaban poco de las anteriores. Desaparecieron del Caribe algunas especies de reptiles gigantes marinos y surgieron moluscos bivalvos gigantes (rudistas) que formaron estructuras resistentes al oleaje. Muchos de estos animales y plantas perecieron hace 65 millones de años atrás como resultado de la caída de un meteorito en Yucatán, tal y como se explicó en el Cuadro 1.

Después del impacto, el Mar Caribe se pobló nuevamente con especies provenientes de los océanos circundantes. Sólo en los últimos 35 millones de años el Caribe evolucionó hacia su forma actual.

Formación de Cuba y su plataforma insular

La paleogeografía cubana de los últimos 3 millones de años está fuertemente determinada por los cambios climáticos que afectaron tanto la temperatura ambiental como el nivel de precipitaciones. Estos cambios climáticos, de carácter cíclico, estuvieron asociados a variaciones del nivel del mar, que en el pasado alcanzó desde posiciones más altas al promedio de hoy (hace 120-130 ka), hasta 120 m por debajo del nivel actual (hace 20-25 ka). Sin embargo, se ha determinado que el factor principal de formación y transformación del relieve cubano son la erosión y los movimientos neotectónicos. Estos movimientos del terreno presentaron distintas tendencias en el territorio de Cuba, pero

por sobre todo dominaron los movimientos de ascenso del terreno.

Como resultado de estos procesos, el relieve sufrió constantes cambios, de tal manera que en algunas etapas Cuba alcanzó un área expuesta de unos 180 000 km² (hace aproximadamente de 20 a 25 ka atrás), mientras que en otras etapas (hace aproximadamente de 120 a 130 ka atrás) llegó a reducirse a una serie de islas y pequeños archipiélagos separados entre sí por llanuras periódicamente inundadas y mares someros. De este proceso resulta que el contorno del Archipiélago Cubano y su plataforma insular actual tuvo su origen en los últimos 6 000 a 8 000 años, y sigue modificándose.

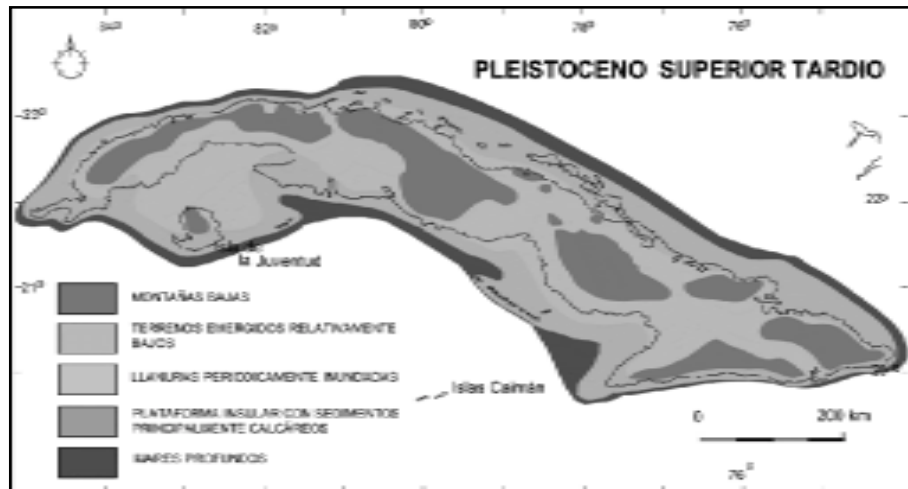


Fig. 9 Cuba en los últimos 6-8 mil años.

1.4 Características actuales del Archipiélago Cubano

El Archipiélago Cubano está situado al noroeste del Mar Caribe, entre la América del Norte, la América Central y la América del Sur. Se localiza entre los 19°49'36" y 23°17'07" de latitud norte, y los 74°07'52" y 84°57'54" de longitud oeste, presenta cuatro vías de interconexión con la región, el Canal de Yucatán, el Estrecho de la Florida, el Canal Viejo de Bahamas y el Paso de los Vientos.

Está integrado por la Isla de Cuba, la Isla de la Juventud y más de 4 000 cayos y cayuelos. La longitud total de sus costas alcanza una cifra superior a los 6 000 Km en todo el Archipiélago (5 746 Km para la Isla de Cuba y 229 para la Isla de la Juventud) y su superficie asciende a 110 860 km² (104 945 km² para la Isla de Cuba). Posee una plataforma insular de aguas someras, con 6-8 m de profundidad promedio, formada principalmente por planicies submarinas que comprende un área aproximada de 67 832 km².

La Isla de Cuba tiene una longitud aproximada de 1 200 km, con un ancho máximo de 191 km en la región oriental y un ancho mínimo de 31 km en su región occidental. Para la Isla de Cuba, aún cuando es la mayor del Archipiélago, el espacio costero es prácticamente toda la Isla, su población se considera casi totalmente costera. Los puntos excepcionales más alejados del mar se encuentran a una distancia máxima aproximada de 60 km de la línea de costa.

Entre los accidentes geográficos más importantes se encuentran 20 bahías, se destacan las de Nipe, Nuevitas, Cienfuegos, La Habana, Matanzas, Santiago de Cuba, Bahía Honda, Cabañas, Mariel, Puerto Padre, Gibara, Banes y Guantánamo.

La temperatura media del Archipiélago es de 25,4 °C, con una humedad relativa de 80%. Sus condiciones climáticas constituyen los principales atractivos de sus características físico-geográficas. Cuba, por su forma larga y estrecha, no posee ríos largos y caudalosos, los más importantes son: Cauto, Toa, Sagua la Grande, Zaza y Caonao. La Isla posee 632 cuencas hidrográficas, estas ocupan una superficie estimada de 81 038 km².

Los macizos montañosos tienen poca elevación, los más importantes son: Sierra del Rosario, Sierra de Trinidad, y Sierra Maestra, donde se encuentra el Pico Real del Turquino, la mayor elevación de Cuba con una altura de 1 974 m sobre el nivel del mar.

1.5 Fuentes hidrotermales profundas

Fumarolas oceánicas. Surgimiento y relaciones con la vida del planeta Tierra

En 1977 un descubrimiento trascendental tuvo lugar en las profundidades del océano, cercano a las Islas Galápagos. Los tripulantes del sumergible "Alvin" observaron por vez primera una *fente hidrotermal* profunda y pudieron constatar, atónitos, la vida exuberante que se desarrollaba alrededor de la misma. Los científicos estaban buscando la estructura geológica, pero no esperaban, ni remotamente, encontrar un ecosistema tan peculiar asociado a ella. El hecho tendría una extraordinaria repercusión en el mundo de la ciencia, y en poco tiempo cambiaron ideas y conceptos básicos en el campo de la ecología de las aguas profundas.

A partir de este descubrimiento se han localizado decenas de estructuras similares en varias partes de los océanos Pacífico, Atlántico e Índico, y la investigación de los aspectos geológicos y biológicos de las también denominadas "*fumarolas oceánicas*" se hizo cada vez más intensa, estas constituyen hoy un nuevo reto para las ciencias marinas.

Características principales de las fumarolas oceánicas y ecosistemas asociados

Las fuentes hidrotermales profundas o fumarolas oceánicas se encuentran a profundidades entre 1 500 y 3 200 m, donde el agua de mar sobrecalentada sale como un potente chorro a temperaturas de más de 300 °C. Sin embargo, esta agua no hierve debido a la extraordinaria presión que existe a esas profundidades.

Las fuentes hidrotermales se encuentran en las zonas donde existe una actividad volcánica submarina intensa, particularmente en las cordilleras sumergidas, donde se está formando el nuevo lecho oceánico. El agua de mar se filtra a través de las grietas y fisuras del fondo oceánico hasta profundidades donde es calentada por la *energía geotérmica* que proviene del *magma*. El agua que sale está cargada de sales mi-

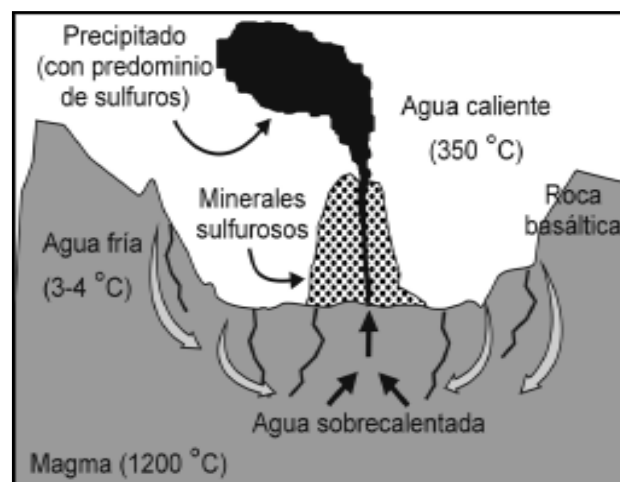


Fig. 10 Esquema de una fuente hidrotermal profunda.

nerales y por lo tanto es muy turbia y oscura, casi negra, debido, principalmente, al gran contenido en sulfuro de hierro. Estas sales se precipitan rápidamente al entrar en contacto con el agua fría del océano circundante y van formando una estructura tubular de contornos irregulares. Esto hace que la apariencia de las fuentes simule una chimenea humeante, de ahí su nombre, aún popular, de *fumarolas negras*.



Fig. 11 Fuente hidrotermal profunda en plena actividad.

Este término no se ajusta a la realidad, ya que no sale humo sino agua caliente, por lo que sería mejor definirlos como *géiseres submarinos continuos* (el géiser terrestre se caracteriza por ser intermitente).

Estas "chimeneas" submarinas pueden alcanzar varios metros de altura en poco tiempo y una de ellas, apodada "*Godzilla*", llegó a tener la altura de un edificio de 15 pisos antes de desmoronarse parcialmente. También existen "fumarolas blancas" en las cuales los compuestos predominantes son sales de calcio, bario y silicio, trasmite un color blanco al agua que sale y presentan menor temperatura.

Lo más sorprendente de las fuentes hidrotermales profundas es la extraordinaria proliferación de organismos que existen en sus alrededores, lo cual contrasta, notablemente, con la extraordinaria escasez de vida que se observa en la mayor parte del lecho oceánico y que, durante mucho tiempo, se consideraba una característica fundamental de las grandes profundidades marinas. El agua que sale de las fuentes hidrotermales alcanza temperaturas superiores a los 350 °C, por lo que el desarrollo de la inmensa mayoría de estas formas vivientes no es posible cerca de las áreas de surgencia, pues solo a unos metros de distancia la temperatura desciende considerablemente debido a la influencia de las aguas oceánicas profundas (temperatura media entre 3 y 4 °C). En la región cercana a las fuentes el agua es templada (entre 8 y 16 °C), existen poblaciones de

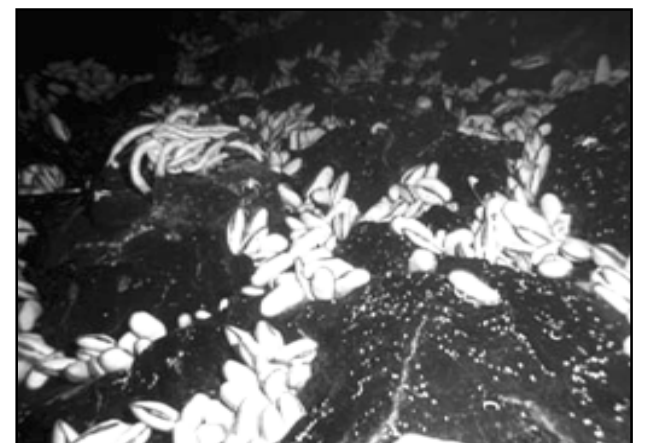


Fig. 12 Campo de almejas en las inmediaciones de una fuente hidrotermal.

organismos de varias especies, muchas de ellas desconocidas hasta finales de la década de los años setenta. Han sido identificadas más de 400 especies que se desarrollan alrededor de las fuentes hidrotermales, y de estas 80% se consideran *endémicas*.



Fig. 13 Gusanos tubícolas que se desarrollan en las fuentes hidrotermales profundas.

Funcionamiento de los ecosistemas marinos asociados a las fumarolas

Los ecosistemas que se organizan alrededor de las surgencias hidrotermales profundas se encuentran desprovistos totalmente de la luz solar, fuente de energía fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta. ¿Cómo es posible entonces que exista una vida tan abundante en esos parajes sumidos a la oscuridad eterna? La respuesta marcó un punto de cambio en las concepciones que se tenían hasta entonces sobre los ecosistemas marinos de las profundidades, y la explicación ha conmovido y en algunos casos, consolidado las ideas sobre el origen de la vida en la Tierra. Por ello vale la pena explicar, en detalle, los aspectos más relevantes del funcionamiento de las comunidades asociadas a las fuentes hidrotermales.

Las sustancias que están disueltas en el agua que emana de las fuentes hidrotermales profundas son de naturaleza diversa, predominan los compuestos sulfurados, especialmente el sulfuro de hidrógeno. Esta sustancia es altamente nociva para muchos organismos, pero existe un grupo de bacterias que son capaces de oxidar este compuesto y utilizar parte de la energía liberada para sus procesos metabólicos. A este proceso se le denomina *quimiosíntesis*, su resultado final es parecido al de la fotosíntesis, aunque con determinada diferencia. En la fotosíntesis la energía que se fija en forma de moléculas orgánicas (carbohidratos) procede de la energía solar, en la quimiosíntesis procede de la liberada a partir de la oxidación de los enlaces que se producen entre las moléculas de los compuestos químicos presentes. En ambos casos la fuente de carbono es el dióxido de carbono disuelto en el agua de mar. De esta manera, mientras que en los ecosistemas marinos que reciben la luz solar, los productores primarios son los organismos fotosintetizadores (plantas y *protistas* principalmente), en estos ecosistemas del océano profundo ese papel lo juegan las bacterias quimiosintetizadoras.

Para poder oxidar los compuestos sulfurados, las bacterias mencionadas anteriormente necesitan el oxígeno que está disuelto en el agua de mar, porque el agua de las fuentes hidrotermales no tiene oxígeno (otros organismos similares no necesitan el oxígeno, pero a ellos se hará referencia más adelante). Por ese motivo estas bacterias proliferan en la frontera, entre el agua de la surgencia hidrotermal y la del océano circundante, tomando la fuente de energía de una y el agente oxidante de la otra. Las bacterias son consumidas por organismos que filtran el agua de mar donde

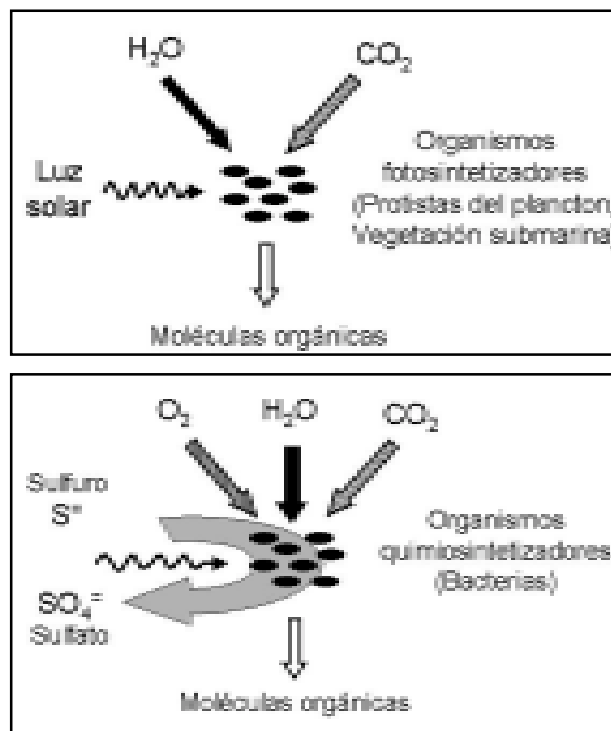


Fig.14. Esquemas que muestran los aspectos esenciales que caracterizan a la fotosíntesis (arriba) y la quimiosíntesis (abajo). La diferencia principal está en la fuente primaria de energía.

contrado otro tipo de ecosistema similar al de las fuentes hidrotermales, pero asociado a lo que se ha denominado "filtraciones frías" y reservorios profundos de salmuera. Estas son áreas donde brota también agua cargada de sales y otros compuestos, pero que no necesariamente están asociadas a zonas de gran actividad volcánica. En estos sitios, abundan también los moluscos bivalvos de varias familias, los gusanos pogonóforos y algunas esponjas. No obstante, las especies parecen ser en general diferentes a las de las fuentes hidrotermales. De más de 200 especies que se conocen asociadas a las "filtraciones frías", sólo 13 son compartidas con las zonas hidrotermales. En las zonas de filtración también existen bacterias quimiosintetizadoras que, al menos parcialmente, son los productores primarios de los ecosistemas asociados. En este caso, no sólo los compuestos sulfurados, sino también el metano, pueden servir de fuente de energía. Estos sistemas son mucho menos conocidos que las fuentes hidrotermales.

Se plantea que los ecosistemas que se asocian a las fuentes hidrotermales profundas son relativamente efímeros, y que su vida media podría ser de sólo algunas decenas de años. Por otra parte, hay razones para suponer que en estas zonas predominan ambientes relativamente inestables, debido a que el flujo de agua

estas proliferan en grandes cantidades o por organismos que raspan las películas bacterianas que crecen sobre las rocas. Estos animales viven a suficiente distancia de la mortal zona de surgencia, cuyo contenido tóxico es rápidamente oxidado a pocos metros de las "chimeneas", tanto por las bacterias como por los procesos químicos abióticos.

En otros casos, las bacterias viven en *simbiosis* (relación que se establece entre organismos, mediante la cual ambos se benefician) dentro del cuerpo de organismos mayores. Esta relación resulta de interés especial, dado que las bacterias necesitan de compuestos reducidos de azufre para su metabolismo, pero estos son altamente tóxicos para la mayoría de los animales que viven en condiciones *aerobias* (en ambientes con oxígeno), por lo que interfieren en la toma de oxígeno.

Las investigaciones más recientes indican que la sangre de algunos de estos organismos (gusanos tubícolas, almejas gigantes), portadores de bacterias simbiotas, es capaz de transportar los compuestos sulfurados unidos a un factor proteico especial y liberarlo, sólo en presencia de las bacterias, que oxidan rápidamente el mismo, eliminando su carácter tóxico. De esta manera las bacterias producen constantemente compuestos orgánicos que usan en su propio metabolismo, pero que transfieren, en parte, a los animales que las hospedan, garantizando así su nutrición y crecimiento. El proceso es tan efectivo, que la biomasa de gusanos tubícolas y almejas puede llegar a dominar ampliamente las comunidades asociadas a las fuentes hidrotermales profundas.

El resto de la trama alimentaria de estos ecosistemas es muy similar a la que existe en otros ambientes marinos. Un grupo de organismos depredadores y consumidores de carroña, se alimentan de los animales que se nutren de las bacterias. Parte de la biomasa que se crea en todo el sistema, es consumida por organismos que se pueden considerar fuera del mismo, y de hecho pertenecen a la fauna típica de los grandes fondos oceánicos.

En algunos lugares de los océanos (Pacífico y Atlántico, incluyendo el Golfo de México) se ha en-

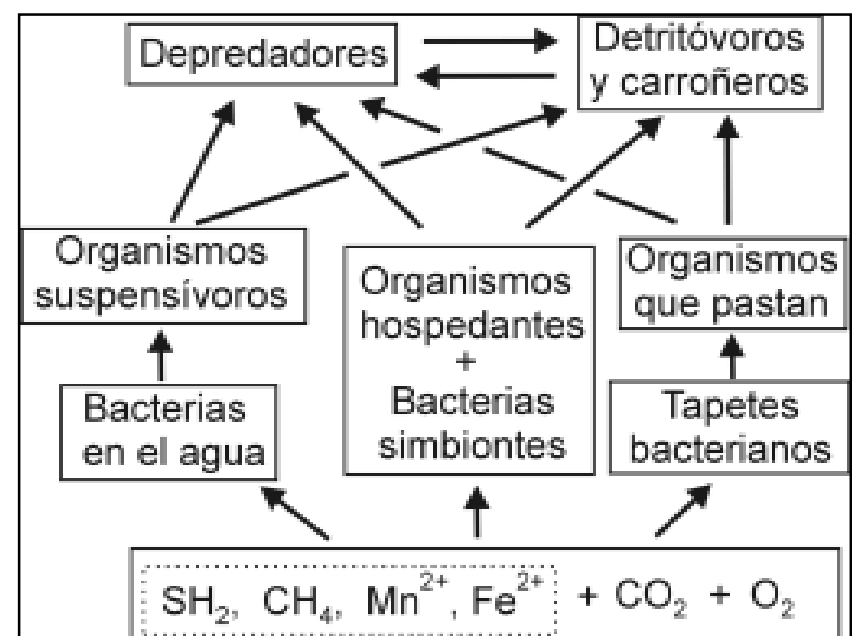


Fig. 15 Esquema de las relaciones alimentarias en las fuentes hidrotermales profundas.

caliente puede variar, notablemente, en períodos tan cortos como semanas o meses, produciendo cambios críticos en los gradientes de temperatura y en el suministro de los compuestos que utilizan las bacterias quimiosintetizadoras.

Estos cambios pueden modificar la composición de las comunidades haciendo más compleja la comprensión de su funcionamiento. Estos ecosistemas pueden ser destruidos de forma súbita por una emisión de lava, fenómeno bastante frecuente en las zonas donde se está creando la nueva corteza terrestre (zona de dorsales oceánicas), que es donde se encuentran las fuentes. Al menos un hecho de esta naturaleza ya ha sido registrado.

El carácter transitorio de los ecosistemas asociados a las fuentes hidrotermales, ha llevado a los científicos a concentrar su atención en los procesos que permiten la perpetuación de las especies y comunidades involucradas. Es indudable que estos sistemas han persistido a lo largo de cientos de millones de años, apareciendo y desapareciendo constantemente. Por este motivo, es evidente que deben existir mecanismos que permitan garantizar la reproducción y el reclutamiento de larvas en nuevos sistemas. Actualmente, sin embargo, es muy poco lo que se sabe sobre la reproducción de estos animales y el tópico constituye un tema de interés creciente.

Para complicar las cosas, se ha descubierto que muchos de los *gasterópodos* asociados a las fumarolas, carecen de una fase larval que se alimente de plancton, lo que teóricamente reduce su capacidad de dispersión. Estas especies, no obstante, aparecen representadas en sistemas muy alejados unos de los otros, por lo que el asunto constituye, para la ciencia de hoy, "un verdadero enigma".

Un nuevo descubrimiento y nuevas polémicas

En 1987 el sumergible *Alvin* protagonizó un nuevo descubrimiento que se relaciona, en gran medida, con el tema que se está tratando. De manera fortuita, el sumergible llegó al fondo oceánico (1 240 m de profundidad), acercándose a un esqueleto de ballena de 21 m de largo que yacía sobre este. Estudiando los restos del cetáceo comprobaron, alrededor del proceso de descomposición de sus huesos, la existencia de bacterias quimiosintetizadoras y otros organismos típicos de las fuentes hidrotermales profundas. En este caso, los compuestos sulfurosos se producían en el interior de los huesos por bacterias *anaeróbicas* (ambiente ausente de oxígeno) a partir de los lípidos abundantes en las estructuras óseas, que se difundían hacia el exterior y eran usados por las bacterias en su metabolismo.

Este descubrimiento resultó clave para formular una interesante hipótesis sobre la dispersión de los organismos que se asocian a las fuentes hidrotermales y a las filtraciones frías. Las ballenas han sido diezmadas grandemente por la actividad pesquera incontrolada y los especialistas estiman que puede existir alrededor de un esqueleto de ballena por cada 25 km² de lecho oceánico. Esta parece un área grande, pero es relativamente pequeña si se compara con las distancias de cientos y hasta miles de kilómetros que existen entre los sitios donde se han descubierto fuentes hidrotermales y ecosistemas similares. Por este motivo, se piensa actualmente que los esqueletos de ballena (y de otros organismos) podrían ser áreas de tránsito en la dispersión de algunas de las especies típicas de estos ecosistemas.

Según algunos expertos, las condiciones ambientales que caracterizan a las zonas adyacentes a las fuentes hidrotermales profundas, son similares a las que existían en el océano primitivo (más de 3 500 millones de años atrás), sustentándose la hipótesis de que la vida apareció en el fondo oceánico, cerca de estas fuentes hidrotermales profundas, esta contrasta con otra hipótesis que refiere, que la vida surgió en el mar, pero en zonas costeras de poca profundidad.

Existe un grupo de organismos microscópicos muy similares a las bacterias, que son capaces de proliferar en temperaturas muy elevadas (por encima de los 90 °C), por ello se les denomina *hipertermófilos*. Estos organismos se han encontrado en las paredes de las "chimeneas" de las fuentes hidrotermales profundas y en la zona donde los fluidos emanados se mezclan con el agua oceánica circundante.

Casi todas las especies identificadas pertenecen al grupo conocido como *Archaea* (antiguamente *Archaeobacteria*), consideradas, al igual que las bacterias, organismos *procarionte*. Los especialistas indican que, estas formas de vida son de muy lenta evolución y que pueden haber surgido, cuando las condiciones en el océano primitivo eran similares a las que hoy prevalecen en las fumarolas oceánicas.

Algunos autores refieren que los primeros organismos que existieron en el planeta debieron compartir algunas características básicas. En primer lugar, ser capaces de desarrollarse en un ambiente sin oxígeno (condiciones anaerobias), en segundo lugar, ser *quimiolitotróficos* (capaces de obtener la energía de sustancias químicas inorgánicas reducidas) y finalmente, debieron estar adaptados a ambientes extremos, en particular a las altas temperaturas que deben haber

sido peculiares de aquellos tiempos remotos. Todas estas características son propias de los organismos descritos anteriormente, lo que ha reforzado la creencia de que "formas similares están en el origen mismo de la vida"

Sin embargo, otros especialistas sostienen que la vida comenzó con organismos hipertermófilos anaerobios (quimiolitotróficos), asociados a surgencias hidrotermales profundas en el océano primitivo. Estos plantean que por el contrario, es posible que los hipertermófilos actuales hayan surgido por evolución de organismos no tolerantes a las altas temperaturas. La cuestión todavía es polémica y sólo la investigación futura podrá arrojar nueva luz en esta controversia.

Por si resultara poco todo lo que ha significado el descubrimiento e investigación de las fuentes hidrotermales profundas para la comprensión del origen de la vida en el planeta, el conocimiento de estas estructuras ha repercutido en torno al fascinante enigma de la vida extraterrestre. Esto tiene que ver con las características descritas recientemente en uno de los satélites del planeta Júpiter llamado Europa.

Este satélite tiene más o menos el tamaño de la Luna y la información obtenida por la sonda espacial *Galileo* en 1996, indica que su superficie está cubierta de hielo. Pero, según evidencias recientes, este hielo parece moverse en algunas partes, por lo que los especialistas especulan que bajo el hielo hay agua en estado líquido. Es posible que lo que mantenga esa agua líquida sea la actividad de fuentes hidrotermales profundas, similares a las de la Tierra, y en las cuales, posiblemente, existan organismos muy primitivos, semejantes a los que se encuentran en las fumarolas oceánicas. Estos organismos, anaerobios, quimiolitotróficos y adaptados a ambientes extremos, podrían existir y dar paso a la hipótesis de "existencia de vida extraterrestre".

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAR

2.1 Fenómenos y procesos químicos y físicos. Composición química del agua de mar

Ya se vio que el cataclismo que por múltiples causas sufrió el universo hace miles de millones de años, provocó grandes cambios en el planeta, surgieron así los importantes volúmenes de agua de mar, hoy los distintos mares y océanos. El agua de mar es, probablemente, la solución natural más compleja que existe, está formada por elementos disueltos y por partículas en suspensión. Los componentes del mar se clasifican en *conservativos* y *no conservativos*. Los primeros, están en el orden de los gramos, presentan limitada reactividad química y son poco utilizados por los

organismos marinos, los segundos están en concentraciones del orden de los miligramos y microgramos, tienen elevada asimilación biológica.

Salinidad del agua de mar

La salinidad ha sido uno de los parámetros más estables desde que se formaron los mares y océanos, se ha mantenido constante en los últimos 200 millones de años y se debe a la concentración de sales disueltas, las cuales poseen elevado grado de disociación.

Las sales son *constituyentes conservativos* y se presentan en proporciones prácticamente constantes. Las sales de cloro son las más abundantes, por ello se toman como referencia para indicar las cantidades en que se encuentran las demás sales.

La definición de salinidad incluye dos términos principales, la salinidad absoluta (S_a) y la salinidad práctica (S). La primera, es la relación entre las masas de sales disueltas y la propia masa de agua de mar, esta no se cuantifica de manera directa. La salinidad práctica es la definida por los reportes de observaciones oceanográficas en las diferentes regiones marinas, constituyen además, uno de los valores usados para evaluar la calidad del agua. Los valores de concentración se dan en gramos por kilogramos de sales disueltas, es decir, en partes por mil (UPS: Unidades prácticas de salinidad).

Se define en términos de relación de la conductividad (K_w) a 15 °C de temperatura, a 1 atmósfera de presión. Como se planteó, el cloro es el más abundante, por ello se determina la *clorinidad* como referencia para cuantificar la salinidad, incluyendo además de los cloruros, los bromuros y los yoduros en gramos por litros de agua de mar.

La salinidad en los mares y océanos varía entre 27 y 36 mg/l (también partes por mil=‰), dependiendo del clima imperante en las diferentes regiones geográficas. En el hemisferio norte, la salinidad es ligeramente inferior a la del hemisferio sur, debido a que los océanos de esta región geográfica reciben mayor aporte fluvial. En los mares próximos al polo norte, principalmente durante el verano, disminuye la salinidad como consecuencia del derretimiento de los hielos. En el océano Antártico los aportes fluviales continentales son menores, entonces la salinidad es mayor. En latitudes tropicales la salinidad es alta, debido al efecto de la evaporación, a la elevada insolación y a precipitaciones comparativamente inferiores.

Las grandes fluctuaciones de salinidad en espacio y tiempo, se producen en cuerpos de aguas costeras, con circulación restringida, este es el caso de los estuarios, lagunas costeras y bahías, por ello sus aguas se clasifican en ocasiones como *hipohalinas* (de baja salinidad) o *hiperhalinas* (de alta salinidad). En estos ecosistemas costeros, relativamente cerrados, se presentan considerables variaciones de la salinidad, entre otros, por la influencia de los *aportes terrígenos* en determinadas épocas del año.

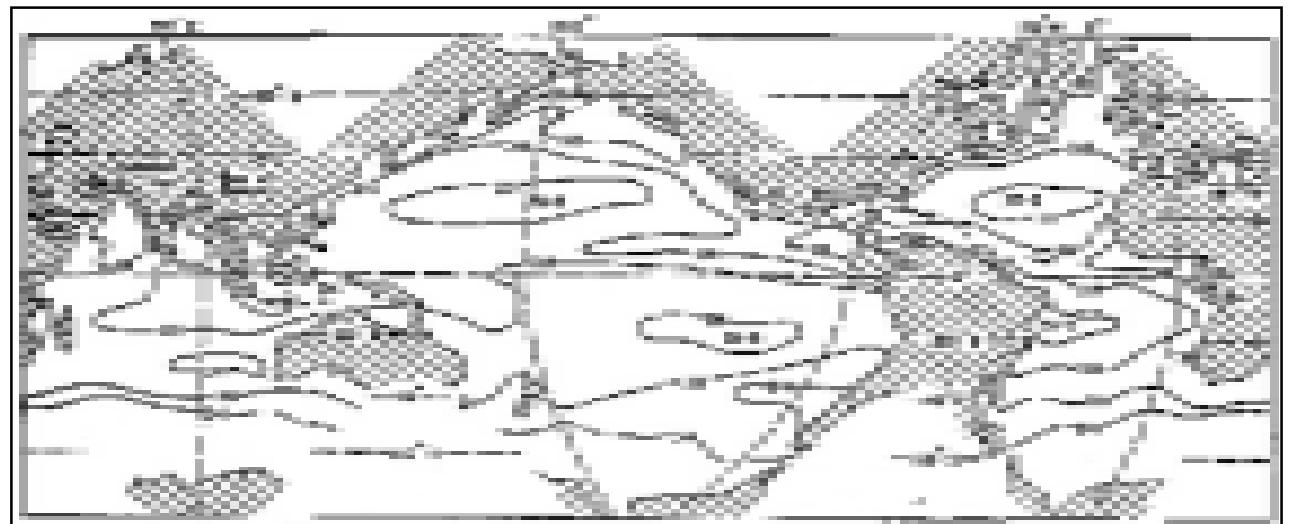


Fig. 16 Comportamiento de la salinidad en los océanos.

Otra importante propiedad química del mar es el pH (abreviatura de potencial de hidrógeno), el cual está casi constantemente con un valor de 8 (en la escala de 0 al 14), es decir, el agua de mar es ligeramente alcalina, lo cual beneficia la estabilidad de los organismos que en ella habitan. En la escala de 0-14, el valor de 7 se conoce como punto neutro, es decir, ni es ácido ni alcalino, los valores menores de 7 indican acidez y los mayores de 7, basicidad.

Oxígeno disuelto en el agua de mar

Aunque ya se ha comprobado la existencia de organismos vivos en condiciones anaeróbicas extremas (ausencia de oxígeno), en sentido general los organismos marinos requieren de índices mínimos de oxígeno, que junto al dióxido de carbono y el nitrógeno, es uno de los principales gases disueltos en el agua de mar imprescindibles para sustentar la vida. El oxígeno se mantiene en determinada concentración en las masas de agua, varía en dependencia de los diferentes procesos químicos, físicos y biológicos que en el mar se producen de manera continua y muy relacionados con los rangos de temperatura y salinidad.

La variabilidad de los niveles de oxígeno en el mar se presenta en dependencia de las temperaturas de las distintas zonas geográficas. En los polos, el oxígeno en la superficie puede alcanzar valores del orden de los 7 mg/l de solución de agua de mar, mientras que en zonas tropicales (también en la superficie) los valores solo se acercan a 4 o 5 mg/l.

Existen dos fuentes principales que aportan oxígeno disuelto al agua de mar, una es por vía atmosférica, la otra por la generación de la *función clorofiliana o fotosíntesis* de los vegetales marinos, como ya fue referido. Atendiendo a esto, la luz juega un importante rol, por ello esta función solamente puede realizarse por los vegetales marinos (protistas o microorganismos compuestos de una sola célula) que viven en las capas más superficiales del océano. La columna de agua que tiene incidencia de la luz solar se llama *zona fótica* (estrato donde existe suficiente iluminación para que pueda efectuarse la fotosíntesis). Esta zona puede variar en un espesor estimado de 200 m de profundidad, en dependencia de la zona geográfica de que se trate.

La existencia y desarrollo de organismos vivos en el mar, están íntimamente relacionados con sus niveles de consumo de oxígeno para respirar, por ello, en los primeros niveles de profundidad (en la zona fótica) viven, principalmente, los organismos productores de oxígeno, mientras que en zonas más profundas solamente viven los llamados organismos consumidores de oxígeno.

El oxígeno disuelto en el agua de mar constituye uno de los indicadores básicos para determinar el estado de calidad y/o deterioro que pueden tener los distintos cuerpos de agua, y los estudios oceanográficos han indicado la necesidad de conocer los valores efectivos de este indicador para interpretar los diferentes fenómenos que pueden presentarse.

Dos métodos son los más usuales para la determinación del oxígeno disuelto en el agua de mar. Uno es un método químico conocido con el nombre del Método Winkler, el otro, más práctico y moderno, se obtiene a partir de equipos con electrodos específicos acoplados que miden la diferencia de los potenciales de oxidación-reducción y aportan los valores de oxígeno disuelto en el área estudiada. La selección del método depende del tipo de investigación que se pretende realizar, los objetivos que precisa, y el alcance y utilización de sus resultados.

Las disminuciones drásticas de las concentraciones de oxígeno disuelto provocan importantes alteraciones en el equilibrio de los cuerpos de agua, ellas pueden desestabilizar el sistema y con ello, no garantizar el desarrollo óptimo de los organismos marinos.

Nutrientes del agua de mar

Las plantas marinas tienen necesidades alimenticias similares a las plantas terrestres. Dos de los elementos de importancia decisiva en el mar son el nitrógeno y el fósforo, que de escasear, pudieran constituir un peligro para los organismos marinos. Los *nutrientes* son aquellas sustancias que al ser consumidas por los seres vivos, directa o indirectamente, estimulan su crecimiento y desarrollo. En el medio marino, los nutrientes más importantes son las sales inorgánicas de nitrógeno y fósforo, aunque existen otras que, incluso, se convierten en elementos fundamentales para el desarrollo de determinados organismos marinos (microorganismos), como es el silicato para las diatomeas y flagelados.

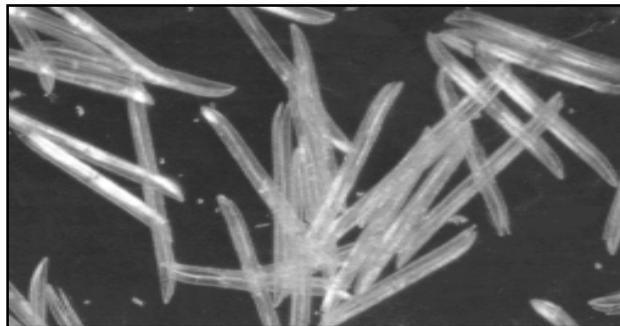


Fig. 17 Foto de diatomeas.

También en el agua de mar existen otros muchos elementos en bajas concentraciones (trazas), que se conocen con el nombre de *micronutrientes*. Estos tienen gran importancia debido a que forman parte de complejos enzimáticos característicos de los organismos acuáticos. Entre ellos se encuentra el hierro, el zinc, el cobalto y el molibdeno. La presencia de nutrientes en el agua de mar, es otro importante indicador para evaluar la calidad del agua y la presencia o ausencia de vegetación marina.

Los principales componentes inorgánicos del agua de mar son los nitratos, los nitritos y el amonio. En aguas abiertas de la plataforma cubana las concentraciones de nitratos y amonios son similares, no así en los ecosistemas costeros, donde el régimen de circulación es limitado, por lo que el amonio es la principal fuente de nutrientes. La distribución de los nutrientes tiene grandes variaciones en espacio y tiempo, sobre todo en las aguas superficiales, mientras que en aguas más profundas las variaciones se hacen evidentes a la altura de la llamada *termoclina* (capa de la columna de agua de mar donde se observa una marcada variación de la temperatura), sobre esta se profundizará más adelante. La diferencia en las concentraciones de

nutrientes en relación con la estacionalidad anual, se observa mejor en los cuerpos de aguas costeros que en los mares abiertos.

Los niveles de oxígenos en el agua de mar aportan criterios acerca del predominio o no de nutrientes en el agua de mar. En áreas donde el medio marino es bajo en oxígeno predomina el amonio, estos ambientes se clasifican como *hipóxicos*, en ambientes marinos oxigenados predominan los nitratos. Las aguas marinas cubanas no son ricas en compuestos oxidados de nitrógeno inorgánico, ya que los valores superiores de estos representan, solamente, entre 15 y 18% de nitrógeno total.

El fósforo es otro micronutriente que se presenta en varias formas químicas, algunas veces disuelto y otras veces particulado. Generalmente, algunas de sus formas, entre ellas los llamados *polifosfatos*, son de origen *antrópico* (resultado de la actividad humana), por ello abundan más en aguas costeras que en mares abiertos.

El ciclo del fósforo en el agua de mar comienza por los aportes fluviales en las áreas costeras, los que pasan a zonas de mar abierto por el efecto de las mareas y las corrientes. Este micronutriente es asimilado por el *fitoplancton* que vive en la zona fótica de la columna de agua de mar. En las zonas costeras se encuentran las mayores concentraciones de fósforo, debido a los aportes de los ríos y a sus variaciones estacionales, estas se observan mejor en las aguas costeras de latitudes templadas que en las de regiones tropicales.

El fósforo inorgánico no es abundante en los mares cubanos, las mayores concentraciones han sido detectadas, entre otras, en zonas litorales (litoral habanero, Ensenada de la Broa, Casilda y Tunas de Zaza); estas son zonas de gran impacto antrópico, por ello han sido clasificadas como aguas marinas con determinado nivel de contaminación.

Los silicatos también son compuestos químicos que se presentan en el agua de mar, el más abundante es el ácido silícico, considerado también un micronutriente. Los compuestos de silíceos se originan, generalmente, a partir del efecto de la intemperie sobre las roca, en las aguas marinas del Archipiélago Cubano las concentraciones tienden a satisfacer las necesidades de las diatomeas.

Procesos de eutrofización

A partir de las décadas de los años ochenta y noventa la contaminación orgánica en zonas costeras, producto de la acción del hombre, comenzó a convertirse en un serio problema mundial. Visto desde el punto de vista hidroquímico, esto responde a la entrada excesiva de nutrientes (del tipo nitrógeno y fósforo fundamen-

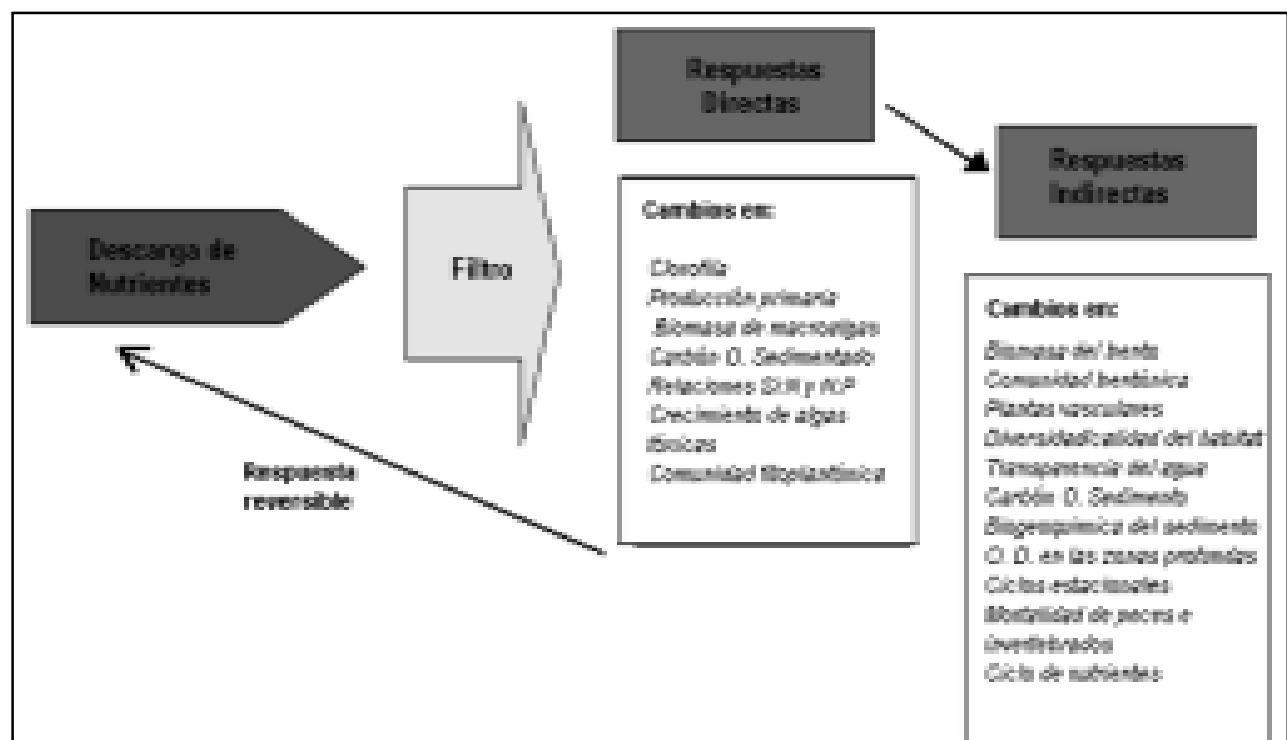


Fig. 18 Proceso de eutrofización.

talmente) en los cuerpos de agua de mar, produciendo cambios importantes en su equilibrio cualitativo, este fenómeno se conoce como proceso de *eutrofización*.

La primera señal de eutrofización costera se detectó en el siglo XIX, cuando la actividad industrial provocó una repartición de nutrientes disueltos en los ríos hacia las zonas costeras en el oeste de Europa. Los primeros estudios de eutrofización costera aportaron amplias concentraciones de nutrientes, dando lugar a una excesiva biomasa de organismos fitoplanctónicos que provocaban alteraciones considerables en el equilibrio necesario entre la producción y el consumo del oxígeno disuelto en el agua de mar.

Los procesos de eutrofización pueden ocurrir durante largos períodos de tiempo, pero también pueden acelerarse, haciéndose críticos por los aportes indiscriminados de nutrientes debido a la actividad no controlada del hombre. Dado lo anterior, la ocurrencia de estos procesos se ha convertido en serios problemas para las zonas costeras, estos se acentúan en ecosistemas de poca circulación donde se producen grandes períodos de *anoxia* (falta de oxígeno), incrementándose la turbidez de la columna de agua y provocando mortalidades masivas de organismos marinos por asfixia. Las causas de estos fenómenos y sus consecuencias se tratarán más adelante, no obstante es conveniente destacar la necesidad de controlar las acciones humanas que incidan negativamente en el equilibrio de los componentes del agua de mar.

Fenómenos, procesos y características físicas

Los mares y los océanos, al ser la mayor parte de la superficie del planeta, están bajo la influencia de múltiples efectos astronómicos, atmosféricos y dinámicos; estos asociados a las características químicas y físicas permiten complementar la interpretación de los procesos y fenómenos que ocurren en los océanos.

Temperatura del agua de mar

Como se ha planteado, la energía solar es la principal fuente de calor que reciben las aguas marinas y a partir de esta se manifiesta la temperatura, una de sus características físicas. El calentamiento de la superficie del mar se debe al efecto de la radiación solar, pero también influye la condensación de la humedad, las precipitaciones, la transferencia de calor desde el aire atmosférico, etcétera. Por su parte, el enfriamiento responde a la evaporación, a la irradiación y al intercambio de calor entre el océano y la atmósfera. La temperatura del agua de mar varía también como resultado del transporte horizontal y vertical de las masas de agua.

En la oceanografía física se conoce como *isotermas* al conjunto de líneas imaginarias que unen las zonas de igual temperatura. Si las porciones terrestres no existieran en el planeta, estas líneas coincidirían con bastante exactitud con los paralelos, sin embargo, la existencia de tierra firme, conjuntamente con el sistema de corrientes marinas (horizontales y verticales), dan lugar a una compleja distribución de la temperatura del mar, variando también entre una y otra zona geográfica.

Cuadro 2. Temperatura promedio de las cuencas oceánicas.

Cuenca oceánica	Temperatura media [° C]
Océano Atlántico	16.53
Océano Índico	17.27
Océano Pacífico	19.37
Cuenca del Polo Norte	0.75
Océano Mundial	17.72

La temperatura superficial es un indicador de las principales corrientes oceánicas y de los torbellinos de aguas cálidas o frías que se manifiestan en distintas regiones, pero además, es un indicador de condiciones específicas para el desarrollo de determinadas especies marinas, y para conocer la distribución y/o comportamiento de sus poblaciones e incluso predecir o alertar situaciones de peligro de las mismas.

La columna de agua marina presenta también una distribución vertical de la temperatura, sufre diferentes gradientes en sus distintas capas y profundidades. Cuando anteriormente se hablaba de la distribución de los nutrientes, se planteó que en la columna de agua existía la llamada termoclina, es decir, la capa donde el cambio de temperatura se hace más notable, provocando esta situaciones específicas en cuanto a distribución de nutrientes y otros componentes químicos y biológicos del mar.

En algunas regiones marinas la termoclina es permanente, esta crea una barrera de densidad que incide en el régimen de circulación vertical de las masas de aguas e incluso de los organismos. En este caso, las aguas superficiales son menos densas y calientes, mientras que las más profundas son frías y más densas. Sin embargo, no siempre se detecta la termoclina en la columna de agua, que surgen solo temporalmente, como es el caso de aquellas que se manifiestan en determinadas épocas del año (primavera, verano, etcétera), estas son llamadas, *termoclinas estacionales*.

Ya se había referido que al penetrar la energía solar en el mar esta es absorbida y asimilada por la masa de agua en forma de calor, este provoca expansiones de las distintas capas de agua de mar variando su densidad, este es uno de los procesos que generan las corrientes oceánicas y trae como consecuencia el transporte de masas de aguas marinas del ecuador hacia los polos y viceversa.

La variación estacional de la temperatura del mar responde a su elevada capacidad calorífica, y en las diferentes épocas del año se producen mezclas entre las capas de aguas superficiales y las más profundas. En los trópicos la superficie de los océanos permanece caliente durante todo el año, con un rango de variación entre 1 y 2 °C. En latitudes medias la variación de las temperaturas es mayor (entre los 8 y 10 °C), y en las latitudes polares la temperatura superficial permanece siempre próxima al punto de congelación (alrededor de -1 °C). En las zonas costeras es mayor la variación de la temperatura, como consecuencia de la dinámica de las aguas.

En la región de la plataforma la distribución de temperatura responde a la mezcla que ocurre entre las aguas del mar abierto y las procedentes del escurrimiento terrestre. Esta distribución se caracteriza por tener una gran variabilidad, la temperatura anual se determina por la diferencia entre la temperatura media de agosto y la de febrero, que son los meses de más altas y más bajas temperaturas respectivamente.

Otras características físicas

Densidad: El agua de mar es más pesada que el agua común (popularmente llamada agua dulce) debido a su alto contenido de sales, por ello, en los puntos de contacto de ambas (caso de la desembocadura de los ríos) estas últimas quedan en la superficie y las aguas marinas se ubican en las capas más inferiores, no obstante, un tiempo después, (determinado por la dinámica de las zonas) éstas se mezclan. En los ecosistemas menos salinos (estuarios y bahías) que reciben aportes de aguas no salinas, un buceo autónomo permitiría fácilmente visualizar ambas capas.

En aguas tropicales, por la elevación de las temperaturas y mayores índices de evaporación, la densidad es mayor, en zonas templadas y frías es menor. También difiere la densidad en relación con la profundidad, a mayor profundidad (también mayor presión) se eleva la densidad y en las capas menos profundas disminuye la densidad.

Viscosidad: Depende de las características físicas del mar, en particular, la temperatura. A bajas temperaturas la viscosidad es mayor y viceversa, sin embargo, la salinidad es el parámetro físico que menos variaciones propicia en la viscosidad. La viscosidad se tiene muy en cuenta en la construcción naval, debido a la resistencia que esta ofrece a los cascos de las embarcaciones, no obstante, las nuevas técnicas navales han solucionado de forma efectiva este problema. También la viscosidad del mar influye en los diversos movimientos de los organismos marinos.

Presión: Es una característica específica de los océanos, esta varía en función de la profundidad. Se estima que por cada 10 m de profundidad, la presión aumenta en 1 kg/cm² y a 5 000 m es de 500 kg/cm² (media tonelada). Como elemento comparativo, vale informar que el hombre en la superficie terrestre y al nivel del mar soporta una presión de 1 atmósfera (1 kg/cm²) sin recibir afectaciones, y solamente estas se presentan cuando comienza a ascender en altura (escala montañas o viaja en aviones).

Sonido: El mar es un medio excelente (mejor que el aire) para la propagación de las ondas sonoras, estas se transmiten a una velocidad cinco veces mayor que en el aire. Esta característica adquirió gran importancia, al generalizarse el uso de estructuras o medios sumergibles (submarinos, batiscafos, etcétera). Los avances científicos y tecnológicos en acústica marina (ecosondas y otros sistemas) son de amplia utilización para la detección de recursos pesqueros, la identificación de la topografía oceánica y los sistemas de alertas ante terremotos y procesos sísmicos. Lo anterior ha demostrado que el mar no es exactamente, el mundo del silencio como antaño se describía.

Luz: La superficie marina es una inmensa lámina reflectora que devuelve a la atmósfera casi la cuarta parte de la luz que sobre ella incide, esto depende del estado de sus masas de agua. La luz al penetrar en el océano es absorbida y en parte es transformada en forma de calor, esto depende de su estado de transparencia. A partir de los 100 m de profundidad, comienza a disminuir la cantidad de luz capaz de absorber el mar y a los 200 m deja de existir la zona fótica.

La luz solar, al atravesar el mar, se descompone en diferentes colores (al igual que si atravesara un prisma). El color azul es el que penetra a mayores profundidades, no obstante, también comienza a desaparecer alrededor de los 200 m.

Color: En el océano abierto, las aguas "impresionantemente azules" son más claras y transparentes, donde la luz solar penetra a mayores profundidades, mientras que en las zonas costeras (aguas más turbias) el color que predomina es el verde y en otras zonas hasta un verde amarillento (aguas extremadamente turbias). Esto significa que la coloración del mar está en dependencia de sus niveles de transparencia, que permitirá en mayor o menor medida la penetración de la luz procedente del Sol.

Hay mares en el planeta con colores específicos, es el caso del Mar Amarillo (Asia), que debe su color a la gran concentración de partículas minerales en suspensión de origen terrestre, y el Mar Rojo (Asia-Africa), cuya tonalidad responde a la presencia de grandes cantidades de algas rojas unicelulares (predominantemente del género *Trichodesmium*).

Corrientes marinas

Las corrientes marinas, influidas por la rotación del planeta, provocan un movimiento de las masas de agua hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur debido al *Efecto de Coriolis*. Las corrientes se producen por el desplazamiento principalmente horizontal de las aguas, debido a la acción de los vientos, a la densidad de las aguas y a la temperatura, y se caracterizan por la dirección y la velocidad de sus movimientos en cada zona de los océanos.

Existen también corrientes de pequeña magnitud, estas se evalúan principalmente en estudios de prospección geológica y líneas específicas de investigaciones.

Los vientos juegan un importante rol en el efecto de las corrientes, los *alisios* son los principales, pues alcanzan velocidades entre 50 y 70 km/h, estos son los que soplan del noreste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur, ellos son los responsables de que las corrientes marinas fluyan hacia el occidente en ambos hemisferios.

Las corrientes marinas en las aguas poco profundas de la plataforma insular de Cuba, también actúan bajo la acción del viento y las mareas, estas ejercen determinada influencia sobre las corrientes existentes en las regiones oceánicas cercanas. Las corrientes también están bajo la influencia de la topografía o relieve submarino, la configuración de la línea de costa, la presencia de obstáculos naturales como son los cayos e islas, y las fricciones con el lecho submarino e incluso, con otras capas de agua marina.

En resumen, puede referirse que el esquema de circulación oceánica superficial es el resultado de la distribución de las tierras emergidas, del régimen constante de vientos predominantes en la atmósfera, de los gradientes de densidad que se establecen en los mares por la desigual distribución del calentamiento de la superficie y por la acción que ejerce el *Efecto de Coriolis* en el agua en movimiento. La suma de todos estos procesos ofrece un complejo cuadro de circulación oceánica.

Tan solo por citar un ejemplo, en las latitudes próximas al ecuador, las aguas se mueven en dirección oeste por la acción de los vientos alisios. Esta gran masa en movimiento está formada por la Corriente Ecuatorial del Norte y parte de la Corriente Ecuatorial del Sur. Entre ellas, en sentido contrario fluye la Contracorriente Ecuatorial, en cuya zona la atmósfera se mantiene generalmente en calma. La zona de la Corriente Ecuatorial del Sur, más cercana al ecuador, se aproxima al continente suramericano y lo bordea, entra en el Mar Caribe, a través de los pasos que propician las islas de las Antillas Menores. La porción más meridional de la Corriente Ecuatorial del Norte penetra también en el Mar Caribe funde sus aguas con la anterior y forma así la llamada Corriente del Caribe.

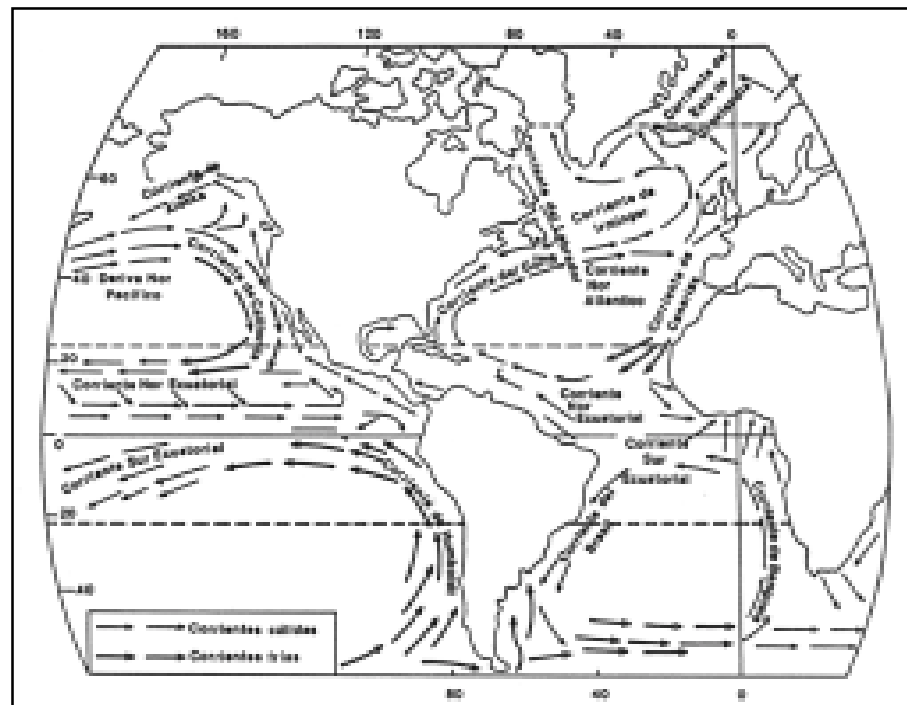


Fig. 19 Corrientes marinas.

En el caso del Archipiélago Cubano, su privilegiada posición geográfica da paso a un complejo sistema de corrientes oceánicas de velocidades relativamente bajas (nunca mayor de un nudo) en la costa sur, se caracterizan por producir efectos de contracorrientes (dirección contraria), como es el caso del giro anticiclónico que se produce en aguas oceánicas al sur de Cienfuegos. La costa norte tiene un sistema de corrientes de mayor efecto, con velocidades en ocasiones superiores a los 3,5 nudos. En la zona nororiental, un brazo de la Corriente Ecuatorial del Norte

penetra por el Canal Viejo de Bahamas y sale por el Estrecho de Santaren, al norte de Villa Clara, para incorporarse a la corriente de La Florida y dar origen a la Corriente del Golfo.

Movimientos ondulatorios y las olas

Las ondas u olas marinas se clasifican de acuerdo al origen de las fuerzas que las provocan, estas son generadas por la acción del viento, las mareas, la presión atmosférica y los cambios climáticos. Las ondas u olas que aparecen por la acción de las fuerzas de atracción de la Luna y el Sol sobre el planeta, tienen un carácter periódico y se llaman *ondas de marea*. Las ondas relacionadas con la desviación de la superficie del océano respecto a la posición y el efecto de los vientos se conocen como *ondas anemobáricas*. Las que se producen por los procesos dinámicos que ocurren en la corteza terrestre (maremotos, terremotos, y erupciones volcánicas), tanto submarinos como costeros, se le llaman *ondas sísmicas o tsunamis*; y las que se producen por efecto de la navegación se les llaman *ondas de escalón*. Existen también las ondas y olas *capilares* producidas por la fuerza de tensión superficial y las llamadas *olas de oscilación* que se producen, generalmente, en zonas de mar abierto, estas no se desplazan, solamente producen un efecto de giro sobre un mismo eje. Las *olas de traslación* se producen en zonas costeras poco profundas, estas además de girar, se desplazan y son las responsables de las clásicas salpicaduras costeras. Están presentes también las *ondas de gravedad*, que son las de mayor importancia.

Las ondas u olas se caracterizan por su *perfil*, representado por la curva resultante de un corte vertical imaginario de la ola, perpendicular a su dirección de propagación. La *cresta* es la parte de la onda que sobresale por encima del nivel medio del mar, la *cima*, es el punto más alto de la cresta, y la depresión es la parte que se encuentra por debajo del nivel medio del mar. La base es el punto más bajo de la depresión y la altura es la distancia que hay entre la cima y la base.

Los factores que influyen en el desarrollo del oleaje son la velocidad del viento, su permanencia, su alcance espacial y la profundidad de la zona. El aumento de la magnitud de cualquiera de estos efectos, implica un incremento en las dimensiones de las olas y una disminución, su debilitamiento. La velocidad es el factor más importante y determina la existencia del oleaje. La *permanencia* del viento es la duración de su influencia en un período de tiempo con velocidad y dirección estables. *El alcance espacial* del viento, conocido también como *fetch*, es la distancia en kilómetros que recorre el viento, conservando su velocidad y su dirección relativamente constante.

Las observaciones periódicas del sistema de oleaje permiten predecir el estado de la superficie marina, la realización de avisos preventivos contra oleajes peligrosos y la valoración de información histórica para los sistemas de protección costera. En la actualidad se conocen diversos métodos de apreciación de los campos de olas, estos son: fotos aéreas y de satélites, utilización de ológrafos, observación costera, utilización de varas graduadas y las observaciones visuales de la superficie marina desde faros o buques. Esta información se clasi-

fica utilizando una escala de gradaciones denominada *Escala de Douglas*.

En Cuba las observaciones de oleaje son reportadas por la red de faros y se compatibilizan con la red internacional que recepciona el Instituto de Meteorología, se brinda información a la población, a la Defensa Civil, a las redes costeras y a la navegación.

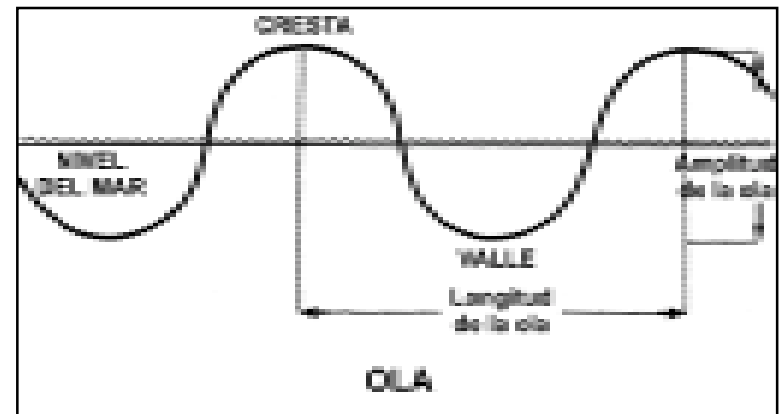


Fig. 20 Esquema de una ola.

Tsunamis

Tsunami, palabra de origen japonés, identifica a un fenómeno en el que las ondas marinas (de gran magnitud) surgen por la acción de terremotos o erupciones volcánicas de los grandes fondos oceánicos. También pueden ocurrir, desde tierras emergidas (por desprendimiento de grandes masas de tierra o hielo) o por corrimientos de tierras submarinas. La propagación alcanza las 5 000 millas náuticas con velocidades superiores a las 500 millas/h, a partir de su fuente generadora (*epicentro*). A diferencia de las olas generadas por el viento, la energía de las ondas tsunamis se extienden hasta el fondo del océano.

Los tsunamis son fenómenos destructivos y sus ondas pueden alcanzar decenas de metros de altura al llegar al litoral. Al alejarse un tsunami de su fuente de origen, la altura de las olas disminuye y su amplitud aumenta, y por las bajas profundidades que encuentra al llegar a las costas, disminuye la amplitud y aumenta la altura de las olas, creando así una impresionante pared de aguas turbulentas de decenas de metros de altura que provocan impactos agresivos.

La mayoría de los tsunamis se originan en el Océano Pacífico (80 %), por ello a esta zona se le denomina *Cinturón de fuego*. Los tsunamis han constituido un problema para los especialistas, solamente se ha podido establecer como pronóstico, el momento en que surgen de su fuente generadora, lo que significa que únicamente puede informarse el tiempo que tardará la ola en trasladarse desde el lugar donde se originó, hasta el punto tentativo de la costa donde ejercerá su efecto.

El pronóstico en ocasiones se complica, ya que no todos los terremotos que ocurren en el océano provocan tsunamis. Las predicciones surgen a partir de los registros sísmicos que reportan los mareógrafos y por reportes acústicos. Dada la gran velocidad de traslación de las ondas (kilómetros por segundo), los pronósticos se obtienen en contados minutos.

Los tsunamis afectan mayormente las costas de Japón y Hawai, los más críticos son los que se forman en las cuestas abismales del océano. Los reportes más antiguos datan del año 479 a.n.e, a partir de entonces se han producido en el mundo unos 355 tsunamis. Los más catastróficos han sido el de 1896 en Sanriku, Japón, y el de 1968 en las costas de Chile, con más de 25 000 víctimas.

En las Antillas Menores se hizo sentir el tsunami del gran terremoto que afectó a Lisboa en 1755 (alturas de olas superiores a los 7 m), lo que demuestra la posibilidad de propagación y efecto de tsunamis que se producen y afectan otras regiones del planeta, en mares próximos al Archipiélago Cubano.

Mareas

La palabra *marea* define la elevación y el descenso rítmico de la superficie del mar en períodos de 12 y 24 h, este fenómeno produce el sistema de *corrientes de marea*. La ocurrencia de la marea se debe a factores puramente astronómicos (fuerzas de atracción que ejercen la Luna y el Sol sobre el planeta), la de la Luna es la de mayor influencia dada su cercanía a la Tierra, por ello los cambios lunares (luna nueva y luna llena) inciden en el aumento o disminución de la amplitud de la marea.

La *amplitud* de la marea, es la diferencia de altura entre pleamares y bajamares. La *pleamar* es el punto máximo que alcanza el mar por encima de su nivel normal, también llamada *marea alta*. El punto más bajo del nivel del mar es la *marea baja* o *bajamar*.

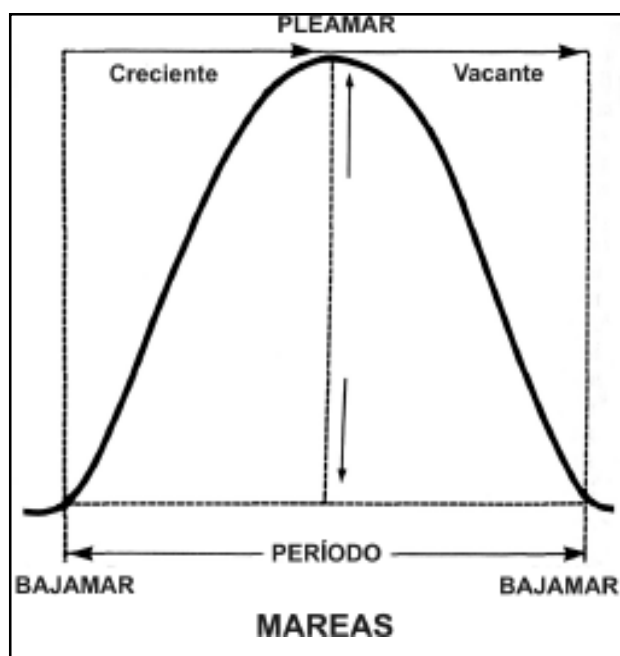


Fig. 21 Esquema de mareas.

Las mareas se manifiestan sistemáticamente a lo largo de todo el sistema costero y la configuración de la costa, las profundidades, el relieve oceánico y las características de las distintas regiones geográficas inciden en su desarrollo.

Los mareógrafos (existen diversos tipos) suministran registros continuos de las mareas, y en la actualidad los sistemas computarizados de última generación, vinculados a la radio y al teléfono, vía satélite, proporcionan información exacta que ha permitido identificar con exactitud las causas que originan este fenómeno.

Los cambios de mareas son evidentes para el observador común, sobre todo para aquellas personas vinculadas al mar. Las *Tablas de Mareas* se confeccionan anualmente para múltiples usuarios, en Cuba se publican desde 1974, en ellas aparece el pronóstico de la amplitud de la marea para pleamares y bajamares cada día del año en 36 localidades costeras del territorio nacional.

Afloramientos en el mar

Existe una fuerte dependencia entre los organismos planctónicos y la dinámica de las masas de agua. Para que funcione bien un ecosistema, es necesaria la adecuada relación entre ciertos elementos del mismo, por ejemplo, las células fitoplanctónicas, los nutrientes y la luz solar. Para que se establezca esa relación se requiere la entrada de energía auxiliar, traducida en turbulencia, para promover la simultaneidad (espacio-temporal) de los elementos mencionados. La clasificación más amplia de organismos planctónicos incluye a los vegetales (fitoplancton), los animales (zooplancton) y los bacterianos (bacterioplancton).

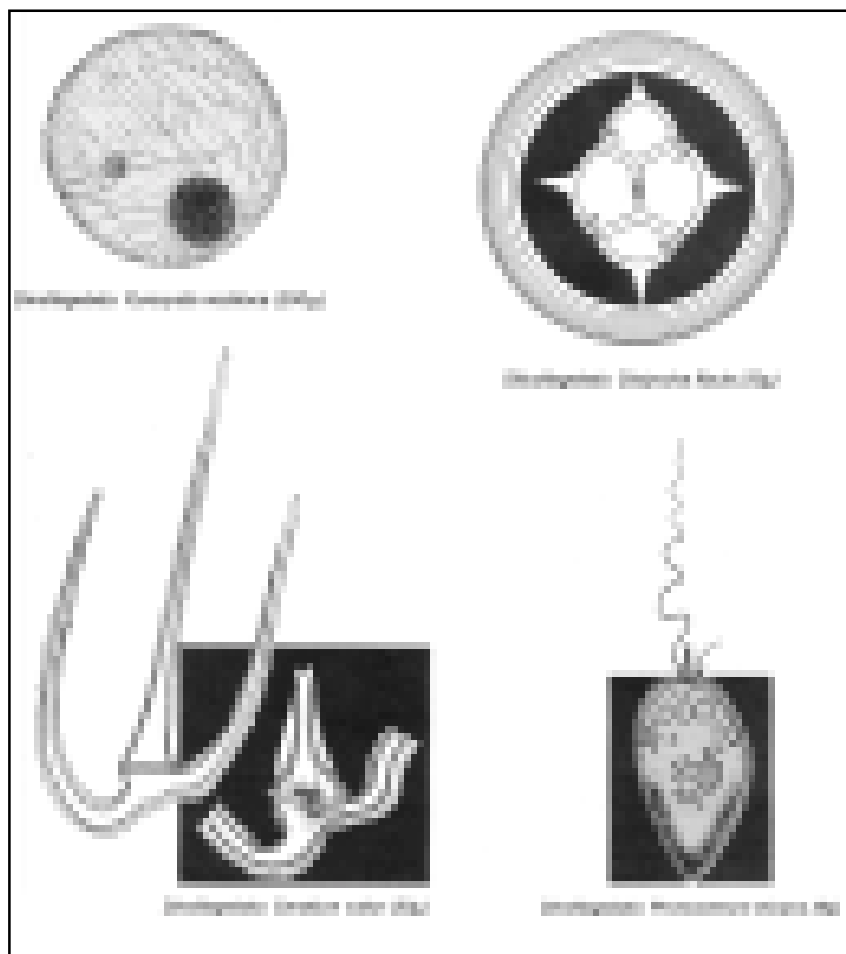


Fig. 22 Esquemas de organismos planctónicos.

En los mares y océanos existen las llamadas *zonas de afloramientos*, en ellas las masas de aguas profundas, ricas en nutrientes, se elevan mezclándose con las capas más superficiales que están generalmente habitadas por concentraciones de organismos fitoplanctónicos.

Otro proceso hidrodinámico del mar, de consecuencias biológicas muy importantes y opuestas al mencionado anteriormente, es el de *zonas de hundimiento* (masas de aguas superficiales que se dirigen y se mezclan con aguas profundas).

En las zonas de afloramiento predomina el fitoplancton y constituyen los principales productores primarios de la cadena alimentaria, son además los que comienzan el flujo de materia y de energía hacia los eslabones superiores de la llamada *cadena alimentaria o trófica*. En los eslabones superiores le sigue el *zooplancton herbívoro* (microorganismos de origen animal que se alimentan del fitoplancton), y posteriormente la mayor biomasa de *zooplancton depredador* (microorganismos que se alimentan del zooplancton).

La estabilidad de las condiciones del mar garantiza el óptimo desarrollo de estos primeros eslabones de la trama alimentaria o cadenas tróficas, con ello se logra el equilibrio de todo el sistema.

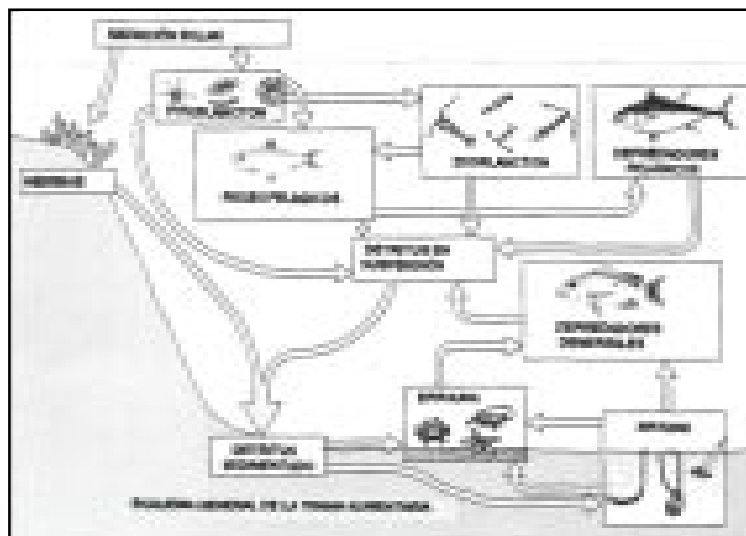


Fig. 23 Esquema de la trama alimentaria.

2.2 Clima y océano

Desde la más remota antigüedad el hombre ha sentido curiosidad por conocer los mares y océanos, en cada época han existido las restricciones de la ciencia, en principio desconocida casi totalmente y en pleno desarrollo posteriormente. Sin embargo, en el transcurso de los años y por supuesto, en la actualidad, el océano y el clima han constituido un binomio totalmente inseparables, sobresalen a nivel mundial el suministro de observaciones atmosféricas y oceanográficas en provecho de la comprensión científica de todos los fenómenos climáticos, con el objetivo de resolver, en la práctica, la protección del mar y sus recursos, o lo que es lo mismo, el sistema acoplado océano-atmósfera.

Influencia de los procesos químicos y físicos en el mar y en el clima

El mar y sus recursos constituyen un conjunto que se afecta, en la misma medida en que se alteran sus componentes, por ello la distribución y variación de los parámetros químicos y físicos (abióticos), son decisivos para la vida de los organismos vivos de los diferentes ecosistemas marinos (bióticos).

En sentido general, los ecosistemas marinos no han logrado desarrollar, de manera integral, los mecanismos reguladores para protegerse de cambios bruscos y de cualquier variación que, por mínima que sea, inciden en las comunidades y poblaciones de los organismos marinos, de ahí la importancia y necesidad de salvaguardar el equilibrio en el mar y evitar los impactos antrópicos irresponsables.

Como ha sido referido, las amplias zonas oceánicas mantienen, generalmente, la estabilidad de sus parámetros físicos y químicos, no así las zonas costeras donde existe mayor influencia del hombre, sus ecosistemas son muy frágiles, por tanto, la dinámica del mar y sus distintas características químicas contribuyen al equilibrio de los ecosistemas marinos y a la vida de sus organismos. Con ellos se propician la oxigenación, distribución de nutrientes, desarrollo de las primeras fases del ciclo de vida de las especies (que se llevan a cabo, generalmente, en la masa planctónica), y se estabilizan las relaciones de los distintos eslabones de la cadena alimentaria, que garantiza la alimentación, reproducción y crecimiento de todos los organismos marinos.

El océano es llamado *regulador del clima* por absorber enormes cantidades de calor durante el verano y cederlas en el invierno, suministra energía a la atmósfera y estabiliza la temperatura del planeta, con el consecuente intercambio tierra-mar. Dado lo anterior, se producen diversos eventos asociados con el clima, en algunos lugares sequías, inundaciones en otros y a partir de estos, los grandes problemas sociales que se suscitan.

Los programas científicos multidisciplinarios han definido las variaciones climáticas que se producen en el nivel del mar, en períodos que varían entre 1 y 20 años todos ellos, asociados a las variaciones del nivel medio del mar que se producen en ciclos temporales. Estas se generan por cambios del volumen del agua oceánica produ-

ran por cambios del volumen del agua oceánica produ-

cida por el deshielo de los casquetes polares y los glaciares, por expansión térmica del océano y por los movimientos tectónicos y geológicos de cada región del planeta.

En los últimos 100 años, el nivel medio global del mar ha aumentado de 1,0 a 2,5 mm por año, y se estima que variará entre 20 y 86 cm para el 2100 y continuarán subiendo a ritmo similar.

Debido a la variabilidad climática y a las tendencias del nivel del mar, se presentan diversas consecuencias en las zonas costeras y en el océano, las más características son: la inundación y el desplazamiento de humedales y costas bajas, la erosión de la línea costera, el aumento de la salinidad en las zonas estuarinas y de los cuerpos de agua dulce, las modificaciones en los regímenes de mareas, la alteración de los patrones de sedimentación y la disminución de la influencia de la luz en las distintas capas de agua, incluyendo los fondos oceánicos.

Lo anterior provoca invasiones del mar en las zonas bajas costeras e incremento de la profundidad en las zonas sumergidas, modifica la distancia entre la superficie y el fondo del mar, y varía la configuración geográfica de la zona costera.

El ascenso del nivel del mar ya comenzó a afectar los ecosistemas costeros, donde aumentan y se generalizan poco a poco los procesos erosivos y la invasión por el mar de las zonas más bajas de la costa. Esto incide sobre las estrategias reproductivas de algunas especies y sus poblaciones. Las afectaciones climáticas influyen negativamente en el valor ecológico, social y económico de los sistemas costeros, entre ellos aquellos que están ampliamente vinculados a la industria turística, la industria pesquera, el abastecimiento de agua dulce y la diversidad biológica en toda su magnitud.

Algunos ejemplos de situaciones producidas por alteraciones de las características físicas y químicas en el mar:

- El incremento de la temperatura media de las aguas incide en los ciclos reproductivos de las especies y en la aparición de enfermedades.
- Las tortugas marinas, actualmente clasificadas como especies amenazadas, definen el sexo por la temperatura de incubación de sus huevos. Un incremento de la temperatura podría incidir negativamente en la proporción de sexos de sus poblaciones.
- Es probable que los arrecifes coralinos de determinadas regiones geográficas se afecten por incrementos de la temperatura, como es el caso del Archipiélago Sabana-Camagüey y Jardines de la Reina.

Sin embargo, junto con lo anterior, que son los fenómenos y transformaciones que se presentan en el mar y sus recursos por efectos naturales, la mayor amenaza responde a las acciones del hombre, entre los que se pueden citar: el vertimiento de residuales no tratados y de plaguicidas procedentes de zonas agrícolas, la sobrepesca, uso de artes de pesca destructivos, las construcciones marinas, represamientos de ríos, el buceo y las actividades turísticas no controladas.

Relación clima-océano en el Archipiélago Cubano

En las aguas de la plataforma cubana ocurren grandes variaciones estacionales y espaciales de los parámetros hidrológicos, debido a sus particularidades físico-geográficas e hidroclimáticas. Esto se debe al aislamiento relativo de las aguas de la plataforma cubana con respecto a las aguas oceánicas y a la existencia de extensiones de zonas marinas de poca profundidad.

El ejemplo más convencional es el intenso escurrimiento terrestre que se produce en la costa norte del Golfo de Batabanó (sur de Pinar del Río, Habana y Matanzas), que origina alteraciones en los índices de salinidad.

En el Golfo de Ana María y Golfo de Guacanayabo (plataforma suroriental) la variación estacional es más tenue, debido a menores índices de escurrimiento y de aporte fluvial. En esta zona hay mayor intercambio con aguas oceánicas debido a profundidades promedio mayores, comparadas con las del Golfo de Batabanó.

En la plataforma noroccidental es menor la variabilidad estacional en comparación con el resto de las regiones marinas, esto se debe al intercambio que se produce con el océano abierto a consecuencia de la Corriente del Golfo (en esta zona la salinidad fluctúa entre 25 y 36 ‰).

En el archipiélago Sabana-Camagüey (plataforma nororiental), por el efecto de las cayerías y de las lagunas costeras, hay mayor aislamiento, por ello mayor variabilidad estacional. La salinidad en esta zona alcanza valores de 40 ‰ en época de seca y durante la época de lluvias, baja a valores de 33 ‰. En algunas zonas de este archipiélago se sobrepasan valores de salinidad de 50 ‰ e incluso se han registrado algunos de 85 ‰ (zona de Los Perros, La Gloria y Bahía de Jigüey).

La temperatura de las aguas de la plataforma cubana está en un rango entre 19 y 32 °C, sin embargo en las zonas donde hay poca plataforma (caso del litoral de Ciudad de La Habana) hay predominio de aguas oceánicas y el rango de variación de las temperaturas medias mensuales es solo del orden de los 5–6 °C.

Las oscilaciones de marea en aguas de la plataforma cubana poseen, generalmente, dos pleamares y dos bajamares, y la marea mixta (semidiurna) está presente en casi todas las costas cubanas (hay zonas de excepción).

En la plataforma nororiental (archipiélago Sabana-Camagüey) el patrón de circulación está determinado principalmente por las corrientes de mareas, y en menor grado por los vientos predominantes. Estas corrientes de marea son más fuertes en los canales existentes entre los cayos y macrolagunas, con amplitudes que varían entre 40 y 60 cm y máxima de 120 cm. En el resto de las zonas costeras de Cuba, las corrientes de marea son más débiles y la amplitud no excede los 20 cm. Los cambios de valores de la amplitud de la marea en todo el Archipiélago Cubano resultan pequeños, si se comparan con los que existen en otras regiones del planeta donde pueden variar en el orden de los 8 a 12 m de altura.

A pesar de lo anterior, la topografía del Archipiélago Cubano genera fuertes corrientes entre los cayos y los canales de entrada de las bahías de bolsa, donde pueden presentarse corrientes máximas superiores a los 150 e incluso 300 cm/seg (3 nudos).

Atendiendo a su ubicación geográfica, Cuba se clasifica como zona tropical del Atlántico norte. Su clima se identifica como tropical estacionalmente húmedo, con importante influencia marina y algunos rasgos de semicontinentalidad. El régimen de vientos en la capa superficial del mar está conformado, básicamente, por la influencia del anticiclón subtropical oceánico Azores-Bermudas que genera los vientos Alisios. Además de las características descritas, se presenta una particular circulación de brisas y vientos de valle y montaña, en correspondencia con su condición de isla.

En Cuba predominan los vientos de componente norte-noroeste, del noreste, del este-noreste y del este, con velocidades medias de 2 - 3 m/seg. Como resultado, habitualmente hay condiciones de buen tiempo, con oleajes de menos de 2 m de altura. No obstante, en ocasiones, se presentan los fenómenos asociados a sistemas frontales y bajas extratropicales, entre ellos los más comunes son: perturbaciones ciclónicas, depresiones, hondas tropicales, hondonadas, tornados y los huracanes.

Los sistemas frontales procedentes del Golfo de México, provocan fuertes vientos en la región sur conocidos como "sures", que ocasionan inundaciones y penetraciones del mar en zonas bajas, principalmente en las provincias occidentales, acompañadas de tor-

mentas severas. Se presentan además, los fuertes vientos de la región norte que también propician penetraciones de mar en las zonas bajas de la costa noroccidental de Cuba, con sistemas de oleaje que pueden alcanzar hasta 8 m de altura.

Los huracanes que afectan al Archipiélago Cubano, principalmente penetran por la costa sur, salen por la costa norte y alteran con ello la estabilidad de los cuerpos de agua de mar de estas zonas.

Fenómenos El Niño-Oscilación del Sur y La Niña

Desde hace varios años muchos eventos meteorológicos extremos han tenido críticas repercusiones sociales. Uno de estos fue el de 1972-1973, período en que se produjeron severas sequías en Australia, Indonesia, Brasil, Centroamérica y la India, por citar algunas regiones. Paralelamente, también en Kenya, Sur de Brasil, Ecuador y Perú se produjeron fuertes inundaciones. En este período se identificaba que estos extremos climáticos, ampliamente dispersos, tenían un origen geográfico común, debido a drásticos cambios de temperatura y presión a nivel del mar, en particular en el Océano Pacífico. Estos procesos combinados comenzaron a conocerse en los medios populares con el nombre de "El Niño" y de "ENOS" en los medios científicos.

Sin embargo, mucho antes de se llegara al bautizo de El Niño o ENOS, la civilización Inca de los Andes se había adaptado a fenómenos recurrentes naturales. Tal era el efecto, que en una zona extremadamente árida del norte del Perú, los Incas construyeron una extensa red de acueductos ensamblado en piedras y en determinadas partes incluían un refuerzo de cañas entrelazadas, para que estas cedieran paso a las aguas procedentes de inundaciones que en ocasiones ocurrían.

En medio de un conjunto de descripciones más o menos coincidentes, la ciencia define el rol que juegan los océanos como elemento de puntual incidencia en las anomalías climáticas del planeta y que, para comprender el clima y sus caprichos, es imprescindible estudiar y comprender el océano. La popularidad de estos fenómenos, en particular El Niño, ha aumentado el grado de conocimiento sobre la relación océano-atmósfera.

En condiciones normales los vientos alisios y las corrientes oceánicas del Pacífico Ecuatorial, fluyen hacia el oeste, desde la costa de Sudamérica hacia Australia e Indonesia. A medida que las aguas cálidas son empujadas hacia el Pacífico Occidental, aguas frías y ricas en nutrientes (Corriente de Humboldt), son llevadas a la superficie a lo largo del Ecuador y Perú, haciendo de esta región una de las de mayor abundancia pesquera del mundo. Pero cuando se manifiesta El Niño, los vientos alisios mueren y algunas veces revierten su dirección y las aguas cálidas fluyen de vuelta hacia las costas de Sudamérica (hacia el sur de las costas de Ecuador y Perú). El Niño, en las costas de Perú y Ecuador, anula la corriente fría de Humboldt, interrumpe la cadena alimenticia para peces y aves marinas, altera los patrones del clima y refuerza las cantidades (inusuales) de energía calorífica a la atmósfera. Este fenómeno se denomina El Niño porque sus mayores efectos aparecen en época de Navidad.

El Niño se acompaña por lluvias anormalmente fuertes que hacen florecer las áridas zonas costeras del Perú. En un principio, la población local hablaba de "años de abundancia", por los beneficios que se observaban en la actividad agrícola; pero la fauna marina sufría una importante disminución temporal, situación que no preocupaba al no constituir esta, en aquel entonces, un recurso económico de importancia como lo es hoy. En la actualidad El Niño ha alcanzado una connotación de fenómeno climatológico crítico por la negativa repercusión socioeconómica que ocasiona, no solo en esta región, sino en otras zonas del planeta.

En la década de los años veinte, los científicos estaban ocupados con los efectos de El Niño a escala local, y G. Walker, de origen británico, trabajaba en la India en los pronósticos de los *monzones*. Este último, a medida que revisaba las mediciones realizadas en diferentes partes del mundo, detectaba una gran relación entre los registros de las presiones atmosféricas de las estaciones meteorológicas del este y del oeste del Océano Pacífico. De hecho, se hacía evidente que mientras la presión aumentaba en el este, la presión disminuía en el oeste y viceversa. Walker llamó a este fenómeno *La Oscilación del Sur* (ENOS), nombre técnico con el que se conoce el fenómeno El Niño, debido a que se toman en consideración parámetros claves de presión atmosférica y temperatura, en dos puntos diferentes de la cuenca sur del Pacífico.

No obstante, la relación entre El Niño y los monzones se mantiene en polémica, debido a que las mayores sequías en la India ocurren seis meses antes de la fase pico de El Niño, por ello la búsqueda por predecir los monzones se ha complicado, y la relación El Niño-Monzón ha ido transformándose durante los últimos 15 años.

El Niño o ENOS puede durar entre 12 y 18 meses en intervalos de tiempo entre 3 y 5 años, no se manifiesta siempre de igual forma, aunque sí se presentan las afectaciones en todo el planeta. Como resultado se relacionan un conjunto de acontecimientos que se resumen en:

- Se extiende una masa de agua anormalmente cálida desde el Pacífico tropical oeste hasta el meridiano 180° durante el otoño del año precedente.
- Se intensifican los vientos del oeste y se debilitan los alisios del noreste entre septiembre y octubre.
- Se altera la presión atmosférica sobre el Pacífico.
- Cambia de inclinación la capa superior del océano en el Pacífico occidental.
- Se libera excesiva energía y se eleva el nivel del mar en Sudamérica.
- Se transportan aguas cálidas desde el oeste.
- El nivel del mar se eleva (promedio de 60 cm a 1 m) por el transporte de volúmenes de agua de otras zonas, aumenta la temperatura y disminuye la presión atmosférica sobre este.
- Se intensifica la contracorriente ecuatorial y casi se anula la Corriente de Humboldt.
- Fluyen por las costas de Perú, hacia el sur, importantes masas de agua fría, excesivamente ricas en nutrientes.
- Sufren impactos las poblaciones de organismos marinos de la zona.
- Luego de 6 a 12 meses, se restituyen las corrientes por desplazamientos hacia el oeste de las aguas frías, estableciéndose las condiciones normales.

Las investigaciones sobre el fenómeno El Niño o ENOS y con ella la acumulación de observaciones, identificó la existencia de un proceso inverso, al que se le denominó La Niña, resumiéndose los acontecimientos de la forma siguiente:

- Vientos alisios confluyen en la Zona de Convergencia Intertropical.
- Aumenta la temperatura del agua y se producen afloramientos en las costas americanas.
- Emergen desde las profundidades aguas frías, ricas en nutrientes.
- La contracorriente ecuatorial se hace sumamente débil.
- Los vientos alisios vuelven a su estado normal, concluye así La Niña.
- En general, su duración es menor que la de El Niño.

La influencia del ENOS sobre los procesos marinos en las aguas adyacentes a Cuba está en estudio,

no obstante está bien identificada su influencia global y con ello su efecto sobre los frentes fríos y las temporadas ciclónicas a través de procesos atmosféricos en esta área geográfica. También se ha podido comprobar la existencia de una marcada relación entre la ocurrencia de El Niño (ENOS) y las concentraciones máximas de pigmentos en la superficie del mar en el Caribe occidental y el Golfo de México, donde se presentan cambios en la variación estacional del nivel del mar, con anomalías importantes.

Lazo de conversión térmica del océano

El lazo de conversión térmica del océano identifica la existencia de una circulación *termohalina*, producida por las diferencias de la densidad del agua. Las aguas cálidas de la superficie del océano fluyen hacia el norte, se refresca, se hunde en el Océano Atlántico norte y continúan hacia el sur, entra en la Corriente Circumolar Antártica y de allí en todas las cuencas oceánicas. A partir de ese momento, sube lentamente y regresa al Atlántico norte en la zona de la termoclina permanente.

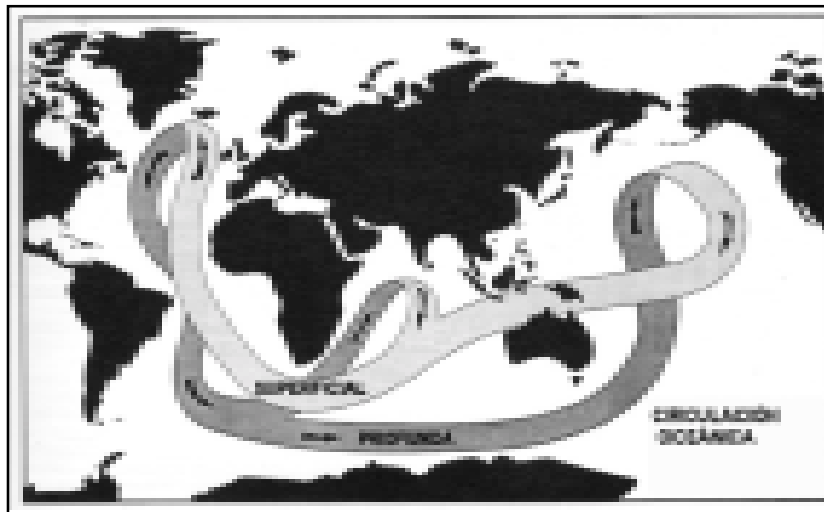


Fig. 24 Lazo Mundial de Conversión Térmica.

Existen otros caminos de circulación de las aguas profundas del Atlántico norte, no obstante el referido anteriormente es el más importante a los efectos de acoplamiento océano-atmósfera, este actúa como un elemento de significativa distribución del calor acumulado por los océanos, y a la vez como fuente de suministro de gases atmosféricos que producen el llamado efecto invernadero o proceso de recalentamiento global, que consiste en el aumento de la temperatura de la Tierra, debido al incremento de concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono y otros gases (metano, óxido de nitrógeno, ozono, etcétera.)

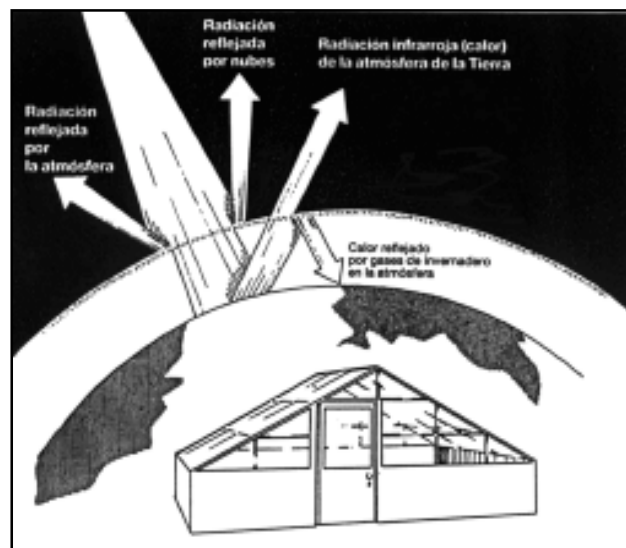


Fig. 25 Esquema del efecto invernadero.

3. LA VIDA EN EL MAR

Las comunidades y poblaciones de organismos marinos constituyen el preciado tesoro de los océanos, y para hablar de ellas debe concebirse el mar como todo un conjunto, incluyendo los ecosistemas marinos existentes, sus relaciones y sus interacciones

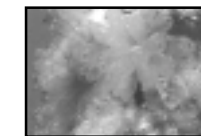
3.1 Diversidad biológica marina y ecosistemas marinos

Hablar de organismos marinos del Archipiélago Cubano significa hablar de una espléndida diversidad biológica y de un patrimonio del planeta. En la introducción se brindó información general acerca de la variedad de especies cuyo hogar es precisamente el océano, con una identificación actual estimada en más de 12 000 especies, que podrían incrementarse en más de 30% si las ciencias marinas continúan su ritmo.

Si bien, desde el punto de vista taxonómico, pudiera referirse la gran variedad de *phylas*, *clases*, *géneros* y *especies* del mundo marino, solo se hará referencia general a los diferentes grupos que lo forman.

Invertebrados marinos

Habitan en todos los mares del planeta, zonas oceánicas, zonas costeras, fondos someros y en las más impresionantes profundidades.



Las *ascidias*, organismos solitarios o coloniales, son típicas del *bentos* marino (fondos marinos). Están representadas en las aguas cubanas con 50 especies, algunas de las cuales se estudian actualmente como fuentes de biofármacos.



Las *esponjas* son organismos pluricelulares muy primitivos. Han sido identificadas aproximadamente 255 especies en aguas cubanas, que representan algo más de 40% de las reportadas en el planeta. Son

importantes y comunes miembros de los principales ecosistemas marinos, desempeñan un rol especial en la retención de biomasas, refugio y alimentación de otros organismos marinos. El uso de sus especies complementan diferentes líneas comerciales.



Los *Cnidarios* incluyen las anémonas, corales pétreos, gorgonias, aguas malas y los corales negros, por citar algunos; se caracterizan por poseer células irritantes (*nematocistos*) que causan importantes ulceraciones dermatológicas por contacto. Los cnidarios están representados por diferentes grupos, dentro de ellos los corales blandos o gorgoneas (*Octocorallia*), entre los que se encuentran los populares abanicos de mar que habitan en las zonas costeras, estos forman parte (aunque no todos) de los arrecifes coralinos y propician el refugio de otras especies. Los corales pétreos o verdaderos corales (*Zoantharias*), cuyos esqueletos calcáreos se forman a partir del depósito de concentraciones de carbonato de calcio, se encuentran en zonas tropicales y subtropicales y asumen una valiosa función en la protección de las costas, en la producción de la arena de las playas y en la identificación de cambios ambientales.



Los *moluscos* están comprendidos entre aquellos organismos con mayor representatividad en los descubrimientos fósiles, desempeñan un importante rol en la trama alimentaria de especies bentófagas, entre ellas la langosta. Desde el punto de vista comercial representan un importante renglón a nivel mundial, en particular aquellas especies destina-

das al cultivo. Su mayor representación se encuentra en los arrecifes coralinos, aunque también existen en otros ecosistemas.



Los *anélidos* son muy abundantes en los mares y en el Archipiélago Cubano, 26% de las especies de poliquetos reportadas para el Caribe se pueden encontrar en él. Son indicadores para evaluar el estado de equilibrio y/o deterioro de la vida marina.



Los *crustáceos*, con más de 10 000 especies reportadas en todo el planeta, están presente en las aguas cubanas con 1 000 de estas y constituyen un decisivo eslabón en la transferencia de energía entre los diferentes niveles tróficos. En este grupo se encuentran los cangrejos, camarones y langostas, que constituyen uno de los recursos pesqueros de mayor importancia.



Los *equinodermos* con más de 6 400 especies vivientes se organizan en diferentes grupos, donde se encuentran las estrellas de mar, erizos, pepinos de mar, y otros. En Cuba hay más de 370 especies reportadas, y en su mayoría tienen importancia ecológica para la dinámica de los diferentes ecosistemas marinos.

Vertebrados marinos



Son de gran importancia por su diversidad biológica. En los vertebrados marinos se encuentran los tiburones, rayas (*Chondrichthyes*) y los peces óseos (*Actinoptefigii*). Se conocen en conjunto más de 25 000 especies, la mayor diversidad se encuentra en las regiones tropicales, la *ictiofauna* cubana es la más rica de todas las Antillas, con más de 1 000 especies reportadas.



Este grupo es una de las fuentes clásicas de captura, sin embargo no todos tienen el mismo valor como recurso comercial. Los peces, por su abundancia, son un elemento imperante al valorar los distintos paisajes marinos y son fuente para actividades comerciales, recreativas y contemplativas.



Los *reptiles* están representados en las aguas de Cuba por 4 especies de tortugas, la verde, el carey, la caguama, y más escaso el tinglado. La explotación irracional de estas especies ha conllevado a clasificarlas como especies amenazadas, por lo que tienen medidas regulatorias específicas.



Los *mamíferos marinos* son los animales más carismáticos de las aguas marinas del planeta. En Cuba habitan como especies residentes el manatí (*Trichechus manatus*) y la tonina o delfín (*Tursiops truncatus*). Otros mamíferos marinos han sido avistados en múltiples ocasiones en aguas cubanas, no obstante son considerados como residentes temporales o transeúntes.

Se incluyen además, como parte de la diversidad biológica marina, los organismos planctónicos (fitoplancton, zooplancton y bacterioplancton) de gran importancia en el equilibrio de la cadena trófica. Estos, además de las fanerógamas, las plantas y las aves, complementan la vida en el mar.

Zonación y peculiaridades del medio marino

Una vez expuesta la panorámica general de los organismos marinos del planeta y de la región marina cubana, es necesario detenerse en su distribución y asociación en los diferentes ecosistemas marinos. Por ello se analizarán y describirán a continuación algunos

aspectos ecológicos imprescindibles para interpretar la heterogeneidad de este ambiente y de hecho, las principales zonas marinas, respetando los diferentes criterios que al respecto puedan existir.

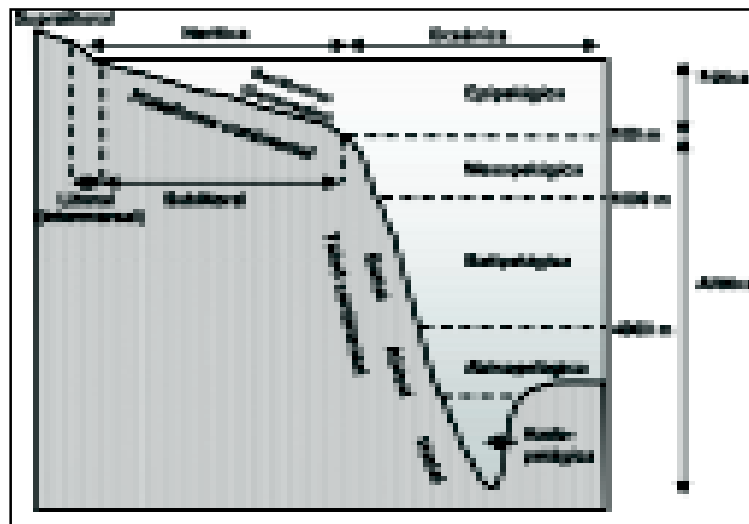


Fig. 26 Clasificación de las zonas del mar.

Por su relación con el fondo: La zona dentro, sobre o muy cerca del fondo se denomina bentónica. A los organismos que viven en esta zona se les llama bentónicos y su conjunto forma lo que los especialistas llaman el *bentos*, grupo dominado ampliamente por los invertebrados y las algas. En algunos casos se les conoce también como organismos *demersales*, término utilizado para los recursos pesqueros.

Por su presencia en la columna de agua: Es la zona donde se desarrollan los organismos que tienen poca o ninguna relación con el fondo, los cuales se denominan *pelágicos*. En esta se distinguen dos grandes agrupaciones de organismos. La primera es el *plancton*, integrado por un número muy grande de especies pertenecientes a muchos grupos diferentes que tienen en común su pequeño tamaño, vivir suspendidos en la columna de agua y ser transportadas pasivamente por las corrientes marinas. La segunda agrupación se denomina *necton* e incluye las formas de vida que tienen movimiento activo y pueden desplazarse dentro de la columna de agua con independencia. En el necton predominan los peces, algunos invertebrados (calamares), los mamíferos y tortugas marinas.

Por su relación con la plataforma continental o insular: Los organismos que se desarrollan en el ámbito de la plataforma se denominan *neríticos*, y los que se desarrollan por fuera del borde de la misma *oceánicos*. En general, la plataforma acaba entre las *isobatas* (líneas que unen imaginariamente similares profundidades) de 100 y 200 m, profundidad a la cual el fondo sufre un cambio brusco de pendiente (veril) y comienza el talud continental o insular.

Por su relación con la iluminación: Son los organismos que viven en la capa superficial, hasta una profundidad en la cual la luz todavía es suficiente para permitir el proceso de la fotosíntesis (aunque sea muy poca), la llamada *zona fótica*. Por debajo, y hasta el fondo, está la *zona afótica*.

Por su relación con la profundidad: En la zona pelágica, la capa más somera, que coincide más o menos con la zona fótica en mar abierto se denomina *epipelágica*. Entre los 100 y los 1 000 m se extiende la *mesopelágica*. De los 1 000 a los 4 000 m (nivel medio del fondo marino), la *batipelágica*. Por debajo de los 4 000 m y hasta las zonas más profundas del fondo marino está la *abisopelágica*. Dentro de las fosas oceánicas, generalmente por debajo de los 6 000 m se halla la *hadopelágica*.

En la zona bentónica se reconoce una zona *supramareal*, que es aquella que se encuentra por encima del nivel de la marea alta y hasta la cual llegan las salpicaduras del oleaje. Después se encuentra la *zonamareal*, entre los límites de las mareas alta y baja. Por debajo del nivel inferior de la marea está la *sublitoral*, que se extiende hasta el borde de la plataforma. Algunos autores llaman a la subzona más somera (de límites no bien definidos) el *sublitoral superior*. La zona del fondo entre el borde de la plataforma y los 4 000 m de profundidad se denomina *batial*. Por debajo de ella viene la *zona abisal* y en el fondo de las fosas se encuentra la *zona hadal*.

Medio marino y distribución de sus organismos

El agua de mar tiene una densidad muy superior a la del aire, lo que propicia mayor flotabilidad a los organismos, fundamentalmente los planctónicos. Hay especies que durante todo su ciclo de vida viven en el plancton (*holoplanctónicas*), otras solamente durante una etapa (*meroplanctónicas*), como es el caso de los huevos y larvas de innumerables especies. Vale referir que 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, crean así un importante mecanismo de dispersión.

Un ejemplo típico del Caribe, la larva *filosoma* de la langosta espinosa común *Panulirus argus*, que vive de 6 a 8 meses como parte del plancton, antes de asentarse en áreas someras de la plataforma cubana. 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.

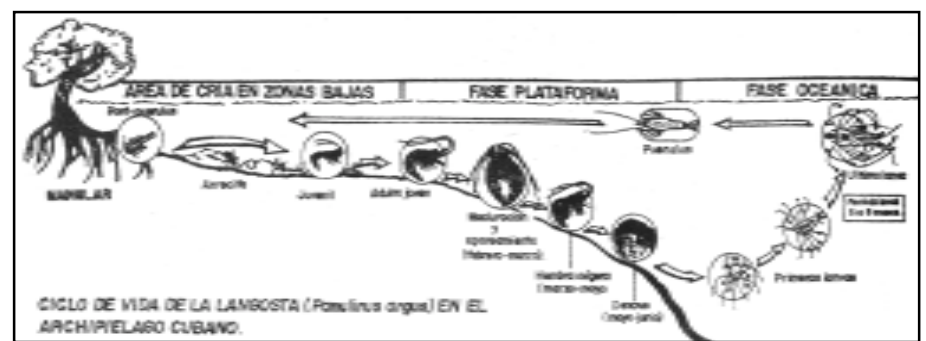


Fig.27 Ciclo de vida de la langosta.

En principio el mar es un medio tridimensional, donde el gradiente de profundidad juega un rol muy importante y como ya fue referido, influyen la temperatura, los niveles de iluminación y los efectos físicos del mar. Por eso se ha señalado que el mar es un hábitat mucho más tridimensional que la tierra. No obstante, este gradiente está muy comprimido a la capa más superficial (convencionalmente, hasta los 200 m), 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 sus variaciones menores que en tierra. En las regiones tropicales estos cambios son mínimos, aunque se acentúan notablemente en las zonas someras, donde generalmente es 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, al estar muy asociadas a sus estrategias vitales. En este sentido las corrientes son mucho más importante que los vientos en tierra, y además, mucho más susceptibles de ser alteradas por el hombre.

Muchos de los ecosistemas marinos son mayores que los ecosistemas terrestres y a su vez mantienen mayor interconexión. También las especies marinas, tienden a tener rangos 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 un tiempo relativamente corto, contrario a lo que ocurre en la tierra. Por ese motivo, muchas barreras marinas importantes pueden pasar inadvertidas al observador casual.

En la tierra los organismos de más larga vida son los árboles, mientras que en el mar son los grandes peces, las aves marinas y los cetáceos.

La riqueza de especies, diversidad de *hábitats* y estado de conservación de los *ecosistemas* marinos, caracterizan a la plataforma de Cuba como una de las de mayor diversidad biológica en todo el Atlántico occidental.

Principales ecosistemas marinos

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

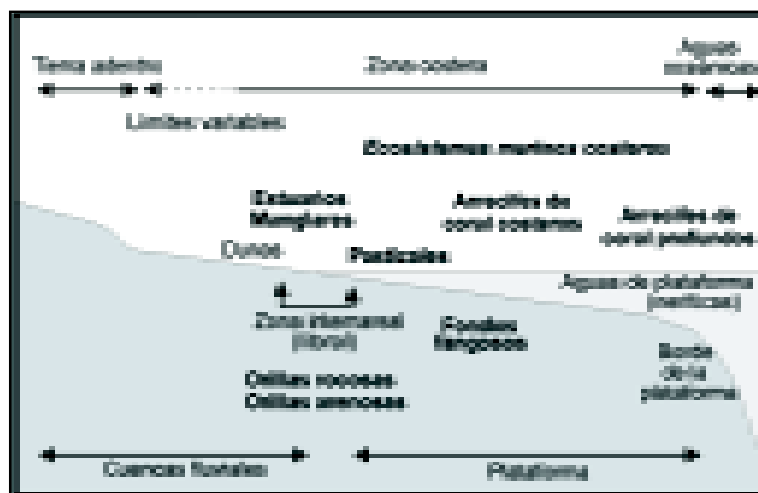


Fig. 28 Zona costera y ecosistemas marinos.

El ecosistema más característico del Caribe es el arrecife de coral, en estrecha asociación con el mismo se encuentran los ecosistemas acuáticos asociados a manglares y a fondos arenosos o arena-fangosos, donde crecen *fanerógamas* submarinas (pastizales marinos). En trabajos recientes se reconoce la 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.

La inmensa mayoría de las plataformas insulares de las Antillas se caracterizan por presentar predominio absoluto de este grupo de ecosistemas. La plataforma continental del Mar Caribe, México y Belice al-

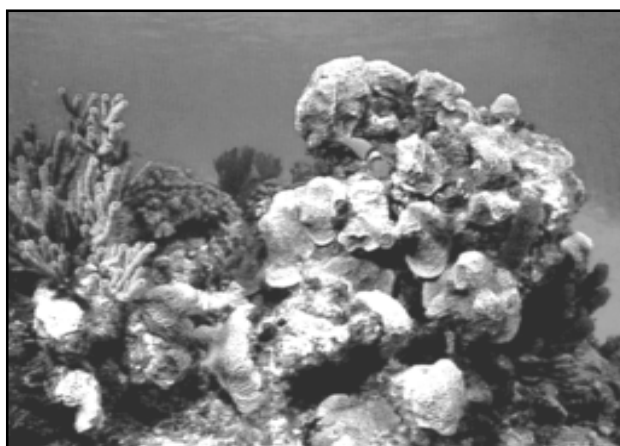


Fig. 29 Arrecifes de coral.

bergan 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 abundancia de corales, aunque no se forman sistemas continuos. Con menos frecuencia también se observan en las costas de América del Sur.

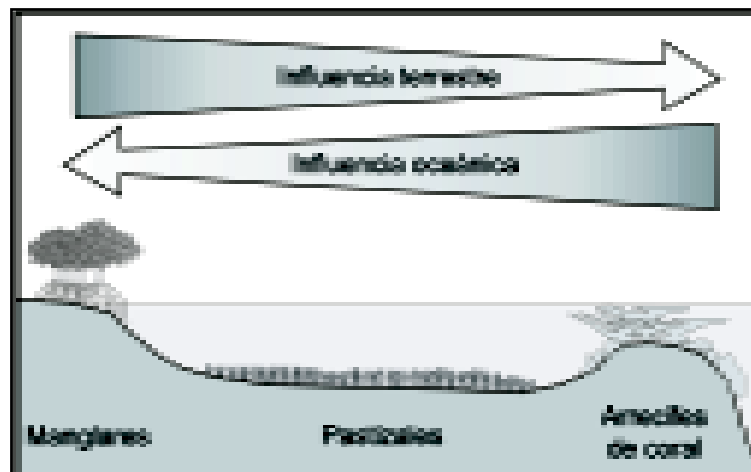


Fig. 30 Organización espacial típica de los tres ecosistemas marinos principales del Caribe.

Existen zonas del Caribe donde no hay un desarrollo grande de los arrecifes de coral, pero sí bosques de mangle muy desarrollados, con fuerte influencia de agua dulce, estos son sistemas estuarinos típicos, con un tipo de mangle diferente al mangle vinculado a los arrecifes.

Como fue visto anteriormente, las zonas de afloramientos enriquecen las aguas y permiten el desarrollo de ecosistemas diferenciados. Este tipo de ecosistema existe en las zonas continentales del extremo nororiental de Colombia y de Venezuela, en el Banco de Campeche y al oeste de la Florida.

El océano abierto constituye un ecosistema diferente a los mencionados, existe fuera de la plataforma del Mar Caribe y en zonas del Golfo de México y del Océano Atlántico. Su mayor porción es la zona epipelágica, pero también posee una franja estrecha de fondo rocoso, con profundidades entre 150 y 300 m. Este fondo ya no pertenece 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, entre los que se encuentran las playas de arena, zonas litorales (intermareales) rocosas, planos abisales y fosas oceánicas.

Los ecosistemas costeros claves en el Caribe son tres: manglar, pastizal marino y arrecife de coral; de gran extensión, importancia económica y fuerte relación. Es preciso reconocer que en la región existen extensiones notables de áreas estuarinas con fondos blandos asociados, que son importantes áreas de pesca de *camarones peneidos*. Las playas de arena constituyen un recurso de extraordinaria importancia para Cuba y otros países del Caribe, presentan una interacción con los arrecifes, ya que una parte importante de la arena proviene de estos. El ecosistema pelágico del océano es importante por su potencial pesquero y por ser el hábitat de las larvas de muchos organismos del arrecife, entre ellos, la langosta.

Manglar: También llamado bosque de mangle, es una 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. Está integrado por varias especies de plantas, que presentan en común la capacidad (variable según la especie) de colonizar terrenos anegados total o parcialmente por agua de mar o salobre.

El manglar no es propiamente un ecosistema marino, pero sí una formación vegetal terrestre que crece parcialmente en la zona intermareal, de ahí su gran influencia en los ambientes acuáticos adyacentes. Es la vegetación típica de los sistemas estuarinos (se describen más adelante) y abundan en los cayos del archipiélago. Aporta gran cantidad de materia orgánica al ambiente acuático y desempeñan un rol clave en la consolidación de los sedimentos. Sus raíces sirven de refugio a muchos organismos marinos (juveniles y adultos) y son el sustrato para muchas especies, entre ellas el ostión. En los cayos, por la escasez de agua dulce, el crecimiento del mangle es menor en comparación con las zonas costeras. Cuba a nivel regional, es uno de los países que posee mayor proporción de su territorio cubierto por bosques de mangle, se estiman en más de 500 000 hectáreas, lo que representa casi 5% de la superficie total del país.



Fig. 31 Bosque de manglar.

Sistemas estuarinos y fondos fangosos de plataforma:

Los sistemas *estuarinos* son cuerpos de agua de la zona costera, con comunicación restringida, aunque periódica, con el mar abierto. Incluyen las lagunas costeras hipersalinas, con gran influencia por escurrimiento de agua dulce. Los sistemas estuarinos se caracterizan por la mezcla de agua dulce y salada, como ocurre en la mayor parte de las bahías, desembocaduras de ríos y lagunas costeras.

En estos sistemas la producción de los manglares no es consumida fresca, sino en forma de *detrito* (ma-



Fig. 32 Proceso de formación de detrito y su papel en la trama alimentaria marina.

teria orgánica particulada rica en microorganismos), es una vía importante para incorporar la energía solar a la trama alimentaria de los ecosistemas marinos costeros.

El detrito está formado por materia orgánica no viva sobre la cual se desarrollan microorganismos, predominan las bacterias, hongos, diatomeas bentónicas y protozoos ciliados. Existe un grupo clave de peces e invertebrados pequeños que se alimentan de detrito, estos constituyen un eslabón de la trama alimentaria.

Cuba presenta un sistema estuarino desarrollado, desde Casilda hasta Cabo Cruz, con una extensa franja de manglar que ocupa cientos de kilómetros de costa, formada por sedimentos blando-fangosos y zonas estuarinas asociadas, principalmente, a bahías y desembocaduras de ríos. Este conjunto de ecosistema es el hábitat óptimo de la fase adulta de los camarones peneidos, de gran importancia comercial, este es un ejemplo representativo de la importancia de la interconexión de los ecosistemas marinos, ya que sus áreas de cría son las zonas lagunares y los adultos se desarrollan en zonas de estuarios.

El manglar de los sistemas estuarinos suministra madera para diferentes usos, es muy preciada por los pobladores de esta zona, por ello se recomienda su explotación racional.

Pastizales marinos:

Son extensas regiones de la zona somera de la plataforma, en las cuales se acumula sedimento arenoso y fango-arenoso cubiertos por praderas de fanerógamas marinas. Están normalmente asociados a los sistemas estuarinos o a los arrecifes de coral, en ocasiones se tratan como subsistemas, pero se expone por separado para facilitar su descripción.

Las plantas que forman los pastizales marinos son capaces de polinizar bajo el agua, es este su principal medio de propagación. Sus rizomas se extienden atravesando el sedimento marino, crean una red dentro del sedimento esencial para su consolidación.

Además de las fanerógamas, se desarrollan macroalgas y microalgas, que representan entre 10 y 50% de toda la producción del pastizal. Solo una proporción baja de las fanerógamas y macroalgas es consumida por los organismos herbívoros (peces loros, familia Scaridae y peces barberos, familia Acanthuridae), por los erizos de mar (*Lytechinus variegatus* y *Tripneustes ventricosus*), por las tortugas marinas y por los manatíes, el resto de las hojas de las fanerógamas mueren, se descomponen y son consumidas como detrito.

Arrecifes de coral:

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

Los corales y otros invertebrados de los arrecifes, contienen grandes cantidades de *zooxantelas* (organismos unicelulares "dinoflagelados" capaces de realizar fotosíntesis) que viven en simbiosis (asociación entre organismos para beneficiarse mutuamente) dentro de sus tejidos, juegan un rol decisivo para el desarrollo de los *pólipos* y constituyen su fuente principal de producción de biomasa alimenticia. Algunos autores señalan que, la mayor significación de esta simbiosis es el mejoramiento de las tasas de calcificación para el crecimiento de los corales.

La *simbiosis* es una estrategia adaptativa efectiva para retener los nutrientes en un ambiente donde estos son escasos: las *zooxantelas* producen sustancias orgánicas utilizadas por los *pólipos* para alimentarse, y los *pólipos* excretan dióxido de carbono y sustancias nitrogenadas que utilizan las *zooxantelas* para sintetizar nueva materia orgánica. De esta manera, gran parte de las sustancias se reciclan de forma efectiva y

rápida dentro de los propios corales. Los *pólipos* ingieren también alimento de forma directa, capturan 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*", que ocurre cuando, por algún motivo, los corales expulsan las *zooxantelas*, que son las responsables de la coloración de los mismos, y sus colonias adoptan un color blanco, aunque puede disminuir el contenido de *zooxantelas* sin que estas sean expulsadas por los corales. Las causas de estos fenómenos de blanqueamiento a nivel local se atribuyen a cambios en la temperatura, salinidad, tasa de sedimentación, intensidad lumínica, etcétera. Sin embargo, a nivel regional el intento de asociar el blanqueamiento por cambios climáticos no ha tenido éxito. Este es un campo de investigación muy activo en la actualidad, donde los descubrimientos y definiciones más importantes están por producirse.

A nivel mundial se reconocen varios tipos de arrecife: *Arrecifes costeros o en franja*: Son los más abundantes, se desarrollan a lo largo de las costas someras de islas y continentes a partir de la zona inmediata a la orilla.

Arrecifes de barrera: Forman estructuras alargadas que corren paralelas a las costas, separadas por una laguna muy ancha y profunda. Los más importantes son la gran barrera coralina del nordeste de Australia (1 500 km de largo) y la que se encuentra situada, en su mayor parte, frente a la costa de Belice, Caribe occidental. Este último es el único arrecife de barrera verdadero de la región.

Arrecifes de atolones: Son formaciones anulares e irregulares que se desarrollan en el medio del océano. Típicos del Océano Pacífico, aunque en la región del Gran Caribe se reconocen algunos, entre ellos el de Islas Bermudas.

Arrecifes de parche: En Cuba se les conoce como "cabezos coralinos" y abundan en la plataforma vinculados a grandes extensiones de seibadales.

En gran parte del Caribe no hay arrecifes de atolón ni de barrera, todos son básicamente costeros o de parche. La estructura específica del arrecife de Cuba varía de una zona a otra, es abundante el formado por el arrecife delantero (más cercano al mar), la cresta o meseta arrecifal y el arrecife trasero (en dirección a la orilla).

Al de cresta muchos le llaman "barrera", pues su estructura asemeja una barrera donde rompen las olas cuando el mar está agitado, y asumen el criterio erróneo de que en Cuba puedan existir barreras coralinas verdaderas, cuando, desde un punto de vista estructural y geológico, no es así. Entre el arrecife trasero y la orilla (muchas veces cubierta de manglar, pero en ocasiones con playas de arena) se encuentra la llamada laguna arrecifal. En muchos sitios, debido a la morfología del fondo, esta cresta no existe (o no es perceptible) y el arrecife está solo formado por la parte frontal, en Cuba existe una de las mayores formaciones coralinas (por su extensión) de todo el Caribe.

Los arrecifes son de áreas tropicales y subtropicales, necesitan condiciones ambientales relativamente estables para su desarrollo adecuado. Los corales existen, principalmente, entre las isothermas de 20 °C, cerca de los trópicos de Cáncer y Capricornio, pero alcanzan su desarrollo máximo con temperaturas entre 23 y 25 °C y prácticamente no existen donde la temperatura está por debajo de los 18 °C, sin embargo, temperaturas mayores (hasta 40 °C) pueden ser toleradas.

El desarrollo de los arrecifes de coral está relacionado con la fluctuación de mareas (menos de 2 m), aunque en algunos lugares, donde existen arrecifes, se registran variaciones mayores. En el Caribe la fluctuación es pequeña (menos de 0,5 m). En todos los casos las mareas inducen corrientes relativamente vigorosas que aportan energía a este ecosistema.

La mayoría de los sistemas arrecifales están ubicados en zonas de acción de oleajes producidos por vientos alisios, donde las olas alcanzan entre 1 y 4 m, son el factor físico que actúa sobre la geomorfología, la distribución por zonas de los elementos estructurales, los materiales carbonatados no consolidados, y la topografía.

Los arrecifes de coral están sometidos a "desastres" naturales periódicos, provocados, principalmente, por los grandes oleajes de los huracanes. Varios especialistas han planteado que este puede ser un mecanismo que ayude a mantener la alta diversidad de los arrecifes, puesto que evita la dominancia de determinadas especies.

Región epipelágica del océano:

Las aguas que están más allá del borde de la plataforma, en el océano abierto, constituyen un importante hábitat, donde se organiza un ecosistema con características peculiares. En ella, el fondo se encuentra a gran profundidad y la vida se concentra en las capas más superficiales (a *zona epipelágica*).

En esta, la comunidad más importante, desde el punto de vista ecológico, es el *plancton*, además se incluyen especies depredadoras de gran importancia comercial, entre ellos, el bonito, la albacora, otros atunes, los peces de "pico" (castero, agujas blanca y "voladora", emperador), el dorado, varias especies de tiburones y otros muy codiciados por la calidad de su carne y por su interés para la pesca deportiva.

El sistema pelágico del océano no es muy productivo, debido a que los nutrientes que se utilizan para la fotosíntesis (nitrógeno y fósforo) se agotan rápidamente, por ello los organismos del fitoplancton mueren, se hunden y con ellos se llevan los nutrientes hacia las capas profundas. Los nutrientes se liberan cuando ocurre la descomposición de la materia orgánica, pero su regreso a las capas superficiales es lento. Surge entonces una paradoja: la luz necesaria está cerca de la superficie, mientras que algunos de los nutrientes esenciales están en las capas más profundas, donde no llega la luz, esto se soluciona, con los procesos de afloramientos.

En el océano que rodea a Cuba estos procesos son muy débiles, por lo que las aguas se clasifican como poco productivas. Pudiera parecer una desventaja si se analiza desde el punto de vista pesquero, pero es una gran ventaja para mantener las azules aguas del archipiélago. En otros lugares del mundo, incluyendo el Caribe (nordeste de Venezuela) se producen afloramientos más o menos fuertes, lo que permite una alta productividad del plancton asociada a gran producción pesquera. Estos son los responsables de grandes pesquerías como la de la anchoveta en Perú, no obstante hace que las aguas sean muy turbias, lo que impide el crecimiento de los arrecifes de coral y resta belleza a las playas.

El ecosistema pelágico-océánico tiene gran conexión con los sistemas costeros, un ejemplo es el de la langosta, recurso pesquero más importante de Cuba. Su larva (filosoma) se desarrolla en el océano, cuando sufre la metamorfosis, se dirige y se asienta como un pequeño juvenil en las zonas de manglar, a medida que crece, desarrolla su vida alimentándose en los pastizales y se refugia en los arrecifes de coral.

Interacciones entre los ecosistemas costeros

Se conoce que existe un intercambio intenso entre los ecosistemas costeros (manglares, pastizales marinos y arrecifes de coral) que se resume de la manera siguiente:

- Los manglares desempeñan un rol esencial en la retención de los flujos de agua dulce y de los sedimentos, crean condiciones para que las aguas se mantengan limpias en la zona costera, facilitando así el crecimiento de los pastizales y corales. Retienen nutrientes procedentes del escurrimiento

y amortiguan los procesos de nutrificación y eutrofización. Es área de cría, de los primeros estadios de desarrollo, de especies que viven en arrecifes de coral.

- Los pastizales disminuyen la velocidad de la corriente y permiten que el sedimento precipite, lo que favorece la limpieza del agua. Reciben el flujo de nutrientes procedentes de la orilla y a muchos organismos que viven en manglares y arrecifes coralinos, que llegan a estos durante la noche para alimentarse, entre ellos, especies de importancia comercial. Constituyen áreas de cría de juveniles de especies típicas de arrecifes coralinos.
- Los arrecifes son, en muchas partes, una barrera efectiva que disipa la energía del oleaje, crean zonas de calma, permiten la acumulación de sedimentos finos que ofrecen sustrato ideal para el crecimiento de los pastizales y manglares. Son fuente de sedimentos carbonatados que contribuyen a la estabilización de los pastizales (por los procesos de erosión).

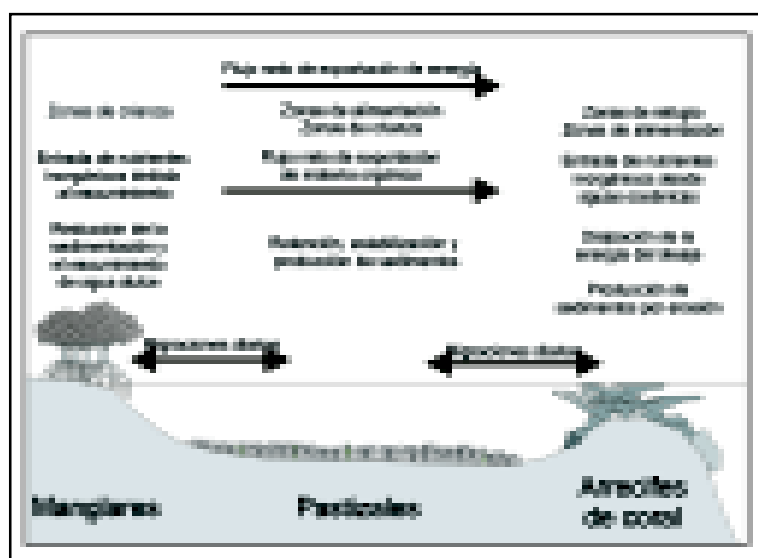


Fig. 33 Algunas interacciones entre los ecosistemas costeros del Caribe.

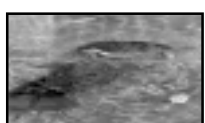
Especies marinas amenazadas

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



El manatí es uno de los dos mamíferos que existen en aguas cubanas, mide aproximadamente 3 m y alcanza un peso de 500 kg como promedio. Es altamente pacífico y habita

en aguas someras. A diferencia de otros mamíferos marinos, no son carnívoros, consumen principalmente vegetales. Habitan en canales y bocas de río y en áreas costeras adyacentes, por ello son vulnerables al impacto humano, en particular a las acciones de embarcaciones que en ocasiones mutilan sus cuerpos. En algunas regiones del Caribe son capturados con fines comerciales, lo que pone en peligro sus poblaciones debido a la baja tasa de reproducción y al deterioro de sus hábitats. Por estas razones se considera en grave peligro de extinción y existe un plan regional para la protección del Manatí auspiciado por las Naciones Unidas.



Las tortugas marinas remontan 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, su origen se sitúa entre 10 y 60 millones de años atrás, junto a algunas serpientes e iguanas marinas y son los únicos reptiles adaptados al agua de mar que aún existen.

Son muy apreciadas comercialmente por su carne y sus huevos, las escamas córneas que forman el carapacho, particularmente del Carey, tienen un alto precio en la industria de la artesanía. Esto ha hecho que la presión de pesca sobre estos organismos sea muy grande, con la consiguiente merma de sus poblaciones naturales. Existen además otras amenazas importantes, el deterioro o destrucción de sus hábitats, la invasión por el hombre de las playas con un efecto negativo en sus zonas de anidamiento, la captura incidental en redes de diverso tipo, etcétera.

Por lo anterior, todas las especies de tortuga están sometidas actualmente a severas medidas de protección y se encuentran ubicadas en el Apéndice 1 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 del Programa Ambiental de la Naciones Unidas se afirma que, al menos 30 especies de cetáceos habitan la región del Gran Caribe (residentes o estacionales) 6 pertenecen al orden Mysticeti (ballenas verdaderas) y todas están

consideradas en peligro de extinción e incluidas en el apéndice I de CITES. Del orden Odontoceti, el cachalote (*Physeter macrocephalus*) y el delfín de agua dulce de Sudamérica o Tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) se consideran también en peligro de extinción. Otras especies de delfines, en general no caen en categorías extremas de conservación, aunque su explotación está regulada y controlada 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.

También ha sido clasificada como especie amenazada, el Cobo (*Strombus gigas*) muy vulnerable por su indiscriminada pesca en la región del Caribe, por lo que sus poblaciones están muy diezmadas.

Con el nombre de Coral Negro se conocen varias especies de invertebrados que pertenecen al grupo de corales pétreo y medusas. Forman colonias que tienen la apariencia de un árbol frondoso y se encuentran en el borde de la plataforma submarina, a más de 25 m de profundidad. Sus colonias fueron colectadas de forma indiscriminada en el pasado y actualmente están sometidas a estrictas regulaciones.

3.2 Recursos pesqueros

En el pasado se pensaba que la pesca tenía muy poca influencia en el ambiente marino. Ya en el siglo XIX el desarrollo de métodos para la pesca industrial, como los buques arrastreros a vapor, permitieron a los pescadores extraer del mar poblaciones mayores de peces y llegar a territorios cada vez más distantes. En la actualidad es importante tener en cuenta las amenazas a las que están sometidos los renglones de interés comercial, los sistemas acuáticos del planeta y la presión creciente sobre la explotación de los recursos pesqueros, el rápido crecimiento del comercio internacional de estos productos, así como los errores cometidos en la protección y ordenación pesquera a nivel mundial, regional y nacional.

Principales recursos pesqueros



Langosta: Es el más importante de la región del Caribe y el principal recurso exportable. Se distribuye en la región occidental y tropical del Océano Atlántico, su hábitat se extiende por el norte, desde Bermudas y Carolina del Norte, en Estados Unidos, hasta Río de Janeiro (Brasil) por el Sur; a través de Yucatán, Centro América y Las Antillas.

En Cuba se pesca en las cuatro plataformas submarinas que forman parte del archipiélago. Habita en aguas poco profundas (hasta 50 m) y usualmente se encuentra en zonas rocosas y coralinas, donde se protege de sus depredadores (tiburones, serránidos como las chernas, guasas y otros peces carnívoros) por su fuerte carapacho cubierto de espinas y por el hábito de esconderse, deja fuera solamente sus largas antenas.

La etapa larval se desarrolla en aguas oceánicas, el juvenil vive en la zona bentónica de aguas someras con abundante vegetación y el adulto se localiza en fondos con plantas y corales donde encuentran alimento y refugio. Durante la noche abandona sus refugios para alimentarse, principalmente, de pequeños crustáceos y moluscos. Realiza migraciones en respuesta a cambios climáticos (*recalos*) para lo cual se organiza en filas de hasta 60 individuos. Se distribuye en distintas profundidades según sus tallas, los mayores individuos se encuentran cercanos al veril, donde las hembras desovan en condiciones más favorables de temperatura y salinidad.

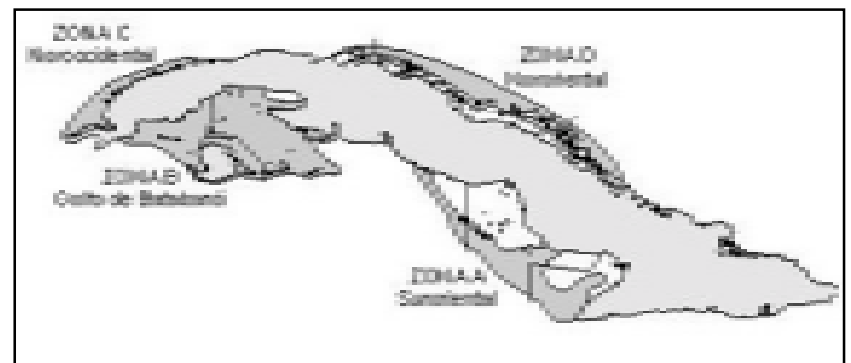


Fig. 34 Principales zonas de pesca.

Alcanza una talla máxima de 225 mm (*largo cefalotórax*) y el arte de pesca más utilizado es el pesquero artificial, aunque en la época de recalo se utiliza el jaulón con aletas (*nasa con aletas*). La captura potencial está alrededor de 9 000 ton, cifra que se actualiza anualmente de acuerdo con estudios de la abundancia.

Posee medidas regulatorias como son:

- Talla mínima legal de captura: 69 mm (largo cefalotórax).
- Época de veda: Del 15 de febrero al 31 de mayo en las regiones occidental y nororiental, y del 1ro de marzo al 15 de junio en la región suroriental.
- Prohibición de capturar hembras en actividad reproductiva.
- Utilizar jaulones de recalo con malla de 2 pulgadas para evitar que queden atrapados ejemplares que no tengan la talla mínima establecida.
- Limitación de la cantidad de jaulones y del largo de sus aletas.

Declarar las principales zonas de cría "áreas bajo régimen de protección".



Camarón: Es el segundo recurso exportable de la industria pesquera cubana, anualmente cerca de 96% de la captura de camarón se exporta. Se caracteriza por ser omnívoro oportunista, tener rápido crecimiento y corta vida (alrededor de un año). Está asociado a zonas donde existen aportes fluviales con sedimentos, fundamentales para su alimentación y desarrollo.

En Cuba existen dos especies de importancia comercial, el camarón rosado o acaramelado y el camarón blanco. El primero es el de más amplia distribución, constituye más de 98% de las capturas nacionales. Se encuentra prácticamente en toda la plataforma suroriental de Cuba (golfos de Ana María y Guacanayabo), aunque también hay pequeñas poblaciones en la Ensenada de la Broa y en otras regiones del país. El área de distribución se caracteriza por fondos arcillosos, con bancos rocosos y sedimentos areno-fangosos. La talla máxima que pueden alcanzar es de 19 cm (las hembras) y 17 cm

(los machos). Tiene hábitos nocturnos, por ello se pesca durante la noche.

El camarón blanco depende más de los aportes fluviales que el rosado, su área de distribución se limita a los sistemas lagunares y desembocaduras de los ríos más importantes como el Cauto y el Zaza. También se localiza en la Ensenada de la Broa y la Bahía de Cienfuegos. La disminución de los aportes de agua dulce, debido al represamiento de los ríos, ha incidido en la disminución de las poblaciones de esta especie. Alcanza mayor tamaño que el rosado (cerca de 22 cm las hembras y 18 cm los machos). Es de hábitos básicamente diurnos, las mejores capturas se obtienen durante el día.

Ambas especies se capturan con *redes de arrastre* remolcadas desde barcos camaroneros para el uso de este arte.



Peces: Los peces marinos constituyen 49,2% de la producción total de la plataforma cubana, es un recurso económico de gran importancia. Varias especies se comercializan internamente y otras se utilizan para el consumo de la población o se exportan.

Las pesquerías de peces marinos se caracterizan por el gran número de especies que la conforman y por la diversidad de tipos de artes de pesca que se utilizan (en su mayoría artesanales). Estos pueden ser tan simples como el conocido cordel y anzuelo, otros son artes pasivos (tranques y nasas) de las que hay múltiples formas, así como los palangres de fondo y de deriva y las redes de enmalle y trasmallo. Los "activos" se manipulan por el hombre como chinchorros, atarrayas, etcétera. Las embarcaciones utilizadas son pequeñas y de diferentes tipos (madera, ferrocemento, acero, etcétera).

Generalmente, a la alta diversidad de especies se vincula el problema de la baja abundancia relativa, y las especies casi nunca forman concentraciones que permitan un esfuerzo de pesca sostenido durante todo el año. Las principales épocas de captura de varias especies se concentran durante las *corridas*, en la época el *desove*. También se forman concentraciones en diversos lugares de la plataforma ante eventos climáticos como frentes fríos y otros, y a diferencia de las *corridas*, se denominan *arribazones*.

Existe una gran diversidad de especies que habitan en todas las plataformas, (Fig. 1) desde los *estuarios* y lagunas costeras, hasta grandes profundidades, en todos los tipos de fondos, principalmente los coralinos (*seibadales*), fango arenoso, rocosos y otros.

Muchas especies habitan cerca del fondo y están estrechamente relacionados con él, pues le sirve para su alimentación, refugio y reproducción. A estas especies se les denomina *demersales*, entre las más conocidas están: la biajaiba, pargo criollo, cají, caballerote, cubera, jocú, rabirrubia, cherna criolla, mero, aguají, guasa, cabrilla, roncós, mojarras, lisas y robalos.

Otras habitan cerca de la superficie o "a media agua" y se les denomina pelágicas. Cada especie se encuentra presente en zonas específicas; por ejemplo, en zonas estuarinas es común encontrar sardinas, manjús, etcétera. En las costeras abundan gallegos, civiles, sierras y varias especies de tiburones. En las oceánicas se encuentran varias especies de tiburones, bonito, albacora, coronados, dorados y peces de pico (emperador, aguja blanca, aguja prieta, castero).

La gran diversidad de especies, coloración, formas, hábitat, diferentes épocas y lugares de reproducción de los peces, son una adaptación al medio para sobrevivir y una forma eficaz de compartir el medio marino.

Las pesquerías en la plataforma cubana se encuentran actualmente de plenamente explotadas a fuertemente explotadas, por lo que no se esperan en el futuro incrementos en sus capturas. La única pesquería que no se encuentra plenamente explotada y en la cual se podrían obtener incrementos de captura, son en las llamadas pesquerías del alto, constituidas princi-

palmente por el pargo del alto, el pargo sesí y la cherna del alto.

Existen múltiples medidas de regulación que son específicas para cada especie y localidad, en dependencia de las características y estado de sus poblaciones, incluyendo regulaciones del tamaño de la "luz de malla", vedas en épocas de desove, tamaño mínimo legal de captura, zonas de vedas permanentes, etcétera. No obstante, debido a que muchas de las pesquerías son *multiespecíficas*, no siempre logran su objetivo.



Atunes: Dentro del recurso peces es importante analizar de manera independiente las pesquerías de atunes, donde las principales especies que se pescan en aguas cubanas son el bonito y la albacora, y en pequeñas cantidades el atún aleta amarilla. A continuación se describen las dos primeras.

Son especies cosmopolitas, es decir, que se distribuyen ampliamente en todos los océanos, especialmente en aguas tropicales y subtropicales. Su hábitat es pelágico oceánico. Son altamente migratorias formando cardúmenes importantes. En Cuba se capturan fundamentalmente en las regiones occidental y central. La talla mínima legal de captura es de 30 cm y la talla máxima que alcanzan está alrededor de los 85 cm. El desove ocurre en aguas oceánicas, en Cuba principalmente durante la primavera y el verano.

La captura media anual es de alrededor de 1 500 toneladas (ton) con variaciones anuales debido a la abundancia y las condiciones del tiempo. Las pesquerías son muy complejas y requieren gran destreza, se realiza con vara y anzuelo. La zona de pesca abarca hasta unas 5 millas del talud de la plataforma.

Previo a la salida hacia la zona de pesca, las embarcaciones capturan en la costa la carnada, conformada por diferentes especies de pequeños peces que se trasladan vivas en los *viveros* de los barcos. Cuando la embarcación localiza un *cardumen* arrojan la carnada para estimular el apetito de los peces momento en que los pescadores dejan caer los anzuelos emplumados que son mordidos por los bonitos, los sacan con la vara, lo sostienen bajo el brazo, les extraen rápidamente el anzuelo y lo arrojan a cubierta. Posteriormente son eviscerados y conservados en las neveras de los barcos.



Cangrejo de tierra: Viven en cuevas o galerías que pueden tener hasta 1,5 m de profundidad. Propio de áreas pantanosas y zonas costeras de abundante vegetación. En mayor abundancia se encuentra en la Ciénaga de Zapata, Matanzas y Pinar del Río. Las pesquerías se desarrollan durante la «*corrida*» que se inicia cuando comienzan las lluvias, se capturan utilizando tranques y extensos vallados, aunque también se extraen de las cuevas. La talla mínima legal de captura es 8 cm de ancho del carapacho.

La principal limitación para la explotación de este recurso es la comercialización, ya que es necesario ofertarlos vivos al no poder congelarse por merma sensible de la carne.



Cangrejo moro: Habita en zonas litorales a profundidades no mayores de 15 m. Se pesca al norte de Villa Clara y en la Ensenada de la Broa (Golfo de Batabanó). Existen medidas regulatorias para su captura y el arte de pesca utilizado es la nasa cangrejera. En los últimos años sus capturas han estado alrededor de las 50 ton. Se comercializa bajo diferentes modalidades, es un recurso de alta demanda en el mercado.



Cobo: Es un molusco marino que se distribuye en toda la plataforma cubana, es el segundo recurso del Caribe después de la langosta. Su carne tiene alto valor nutritivo y la concha puede ser utilizada con fines artesanales.

Desde 1992 se incluyó esta especie dentro del Apéndice II de CITES (Convenio para el Comercio Internacional de Especies Amenazadas) y

se comercializa bajo medidas regulatorias. Desde 1999 se otorgan licencias ambientales para su pesca, según estrategias de manejo para lograr el uso sostenible de este recurso. La captura potencial anual está alrededor de 1250 ton.



Pepino de mar (Holoturia): Posee características que le confieren valor comercial, medicinal y ecológico. Son altamente cotizados, constituyen un plato exótico en las comunidades

asiáticas y su valor de venta puede alcanzar los 70 kg (dólares norteamericanos por kilogramo) de pepino seco, se comercializan de diferentes formas (ahumado, en salmuera, fresco, congelado), según la especie y el país de destino. Hasta sus tripas son una delicadeza en los restaurantes de lujo (\$80 cada plato). La calidad óptima del producto terminado decide los precios en el mercado internacional.

Son utilizados como medicamentos contra la artritis, úlceras, tumores, enfermedades bronco respiratorias y anticancerígenos. Debido a que estos organismos no presentan ninguna capacidad de resistencia al ser pescados, se considera como un recurso vulnerable. Desde 1999 el pepino de mar es un nuevo renglón exportable para Cuba. Las zonas de colecta son: Bahía de Nipe, Banes y Nuevitas.



Esponja: Las esponjas comerciales son las que carecen de *espículas*. Por esto y por poseer una gran capacidad de retención de agua, elasticidad y durabilidad, presentan importancia

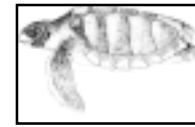
comercial en las industrias cosmética, farmacéutica, de la construcción, etcétera.

Las principales zonas productoras de esponjas del mundo son el Mediterráneo oriental y el Caribe. Cuba produce cada año alrededor de la mitad de la captura mundial (50 ton) en sus 2 principales zonas de pesca: Golfo de Batabanó y la región norte central del país, utilizando una flotilla de 20 barcos y el buceo autónomo.

Las principales especies cubanas son *Spongia graminea* (Macho Cueva), *Spongia bárbara* (Macho Fino), *Spongia cheiris* (Macho Guante) e *Hippospongia lachne* (Hembra de Ojos).

Las zonas donde principalmente habitan las esponjas comerciales cubanas están asociadas a fondos areno-fangosos y a seibadales, en profundidades comprendidas entre los 4 y 10 m.

Posee regulaciones de tallas mínimas de captura entre 20,8 y 35,6 cm, según la especie. Debido a la alta demanda en el mercado es un renglón importante.



Tortugas marinas: Son especies pelágicas de un complejo ciclo de vida. Desovan en nidos en las playas de arena, estos son cavados por las hembras con sus extremidades tra-

seras. Al eclosionar los huevos las pequeñas tortugas se dirigen hacia el mar, en el cual pasarán todo el resto de su vida, salvo las hembras, que regresarán solamente para depositar los huevos y continuar el ciclo de vida.

Están expuestas a peligros a partir del momento de eclosión de sus huevos, pues son cazadas por perros, otros animales y el propio hombre. También son atacadas por pájaros, peces marinos y tiburones.

Desde antes de la colonización, los aborígenes consumían la carne de tortugas marinas y esta tradición de consumo se ha mantenido hasta nuestros días. El Ministerio de la Industria Pesquera mantiene dos sitios de captura: en el sur de la Isla de la Juventud y en Nuevitas con una cuota de captura de 25 ton, en correspondencia con las regulaciones específicas de no capturar una cantidad mayor de 500 ejemplares de la especie *carey* (*Eretmochelys imbricata*), 300 ejemplares de la especie tortuga (*Chelonia mydas*) y no más de 150 ejemplares de la especie caguama (*Caretta caretta*).

Estas especies han sido catalogadas como en peligro de extinción por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y

Fauna Silvestre (CITES), que regula la comercialización internacional de las especies y facilitan de esta forma su uso sustentable.

En Cuba el uso esencial de estas especies es la carne, que se destina a instituciones sociales.

Biología pesquera y pesca responsable

En la actualidad existe la preocupación y la atención creciente por lograr la explotación y el desarrollo sostenible de los recursos naturales, con vistas a poder ofrecer alimentos para la población mundial tanto en el presente inmediato como en el futuro. El tema que nos ocupa está muy relacionado con esto, ya que precisamente mediante el manejo de los aspectos esenciales de la biología pesquera, es que se pueden lograr tales objetivos.

¿Qué especies son objeto de pesquerías?

Cuando se habla de pesquería se refiere a un grupo de organismos acuáticos que son, serán o han sido usados con un propósito comercial o recreacional. Pueden ser utilizadas para el consumo humano, industrial (por ejemplo alimentos para animales como gatos, aves, etcétera.) y el turismo. Para los efectos de la pesquería, los organismos acuáticos incluyen una gran variedad de grupos:

- Los vertebrados de sangre fría (peces y tortugas).
- Los vertebrados de sangre caliente (ballenas, focas y leones marinos).
- Los invertebrados (camarones, langostas, pulpos, calamares, cangrejos, almejas, ostras, etcétera.)

Todos los grupos antes mencionados son susceptibles a una pesquería, y del estudio de las pesquerías se encarga la biología pesquera.

¿Qué información necesita el biólogo pesquero para realizar su trabajo?

1. Poseer un sistema estadístico de pesca organizado.
2. Efectuar un control sistemático del estado biológico del recurso que se está explotando.

Mediante las estadísticas el biólogo pesquero es capaz de conocer el estado de la población y recomendar las vías más adecuadas para una explotación racional. Una buena organización de la estadística pesquera se basa en:

Captura desembarcada: Es el peso del pescado y sus derivados llegados a tierra. Por lo general, es lo que el pescador reporta a su llegada a puerto.

Captura nominal: Es el equivalente en peso vivo (entero, no eviscerado) de la captura desembarcada. Es con la que trabajan fundamentalmente los biólogos, ya que representa en realidad la cantidad que está en el agua.

Esfuerzo pesquero: Es el número de artes, barcos o días que se emplean para obtener determinada captura. Lo más importante al reportar el esfuerzo de pesca, es seleccionar un índice que guarde la mayor relación con la abundancia de la población. Si el recurso se encuentra en una zona donde es común el mal tiempo, no sería un buen indicador los días u horas mar de la embarcación, sino los días u horas pesca o el número de artes de pesca que trabajó para obtener determinada captura.

Si se incrementa el esfuerzo pesquero en número de barcos, pescadores o artes de pesca ¿siempre se obtienen incrementos en la captura?

Número de embarcaciones: El comportamiento de la captura está en función del esfuerzo pesquero y de otros factores. Una captura dada puede ser igualmente producida con esfuerzos de pesca diferentes, pero la ganancia difiere.

Una pesquería que posea sobredimensionado el esfuerzo pesquero, no dará las ganancias acordes con la inversión y además la población que se está explotando corre el peligro de caer en colapso por sobrepesca. En el caso inverso, un recurso que tenga aplicado un bajo nivel de esfuerzo pesquero, se está desaprovechando la potencialidad del mismo y se presentan pérdidas económicas.

Es por esto que *el esfuerzo pesquero a emplear en una pesquería*, debe encontrarse en un rango específi-

co, pues este corresponde al máximo de captura que se debe obtener. Para conocer cuál es el valor óptimo de esfuerzo (en número de barcos, hombres o artes utilizados), hay que poseer estadísticas de esfuerzo pesquero para un manejo adecuado de los recursos.

El propósito que se persigue es que la pesquería se mantenga en la llamada **Captura máxima sostenible**. Este término es el valor máximo de captura de un recurso que puede ser alcanzado sin causar una declinación o caída de las futuras capturas en períodos posteriores.

La mayoría de los análisis pesqueros requieren datos de captura y esfuerzo suficientemente grandes. En muchos países, donde los recursos pesqueros son explotados en su mayoría por comunidades de pescadores que se encuentran dispersos a todo lo largo de la costa, con escasez de grandes puertos y plantas procesadoras que puedan en parte, subvencionar la recolección de información pesquera, la inversión del gobierno es mayor para mantener la información estadística de las pesquerías. Los países caribeños son susceptibles a la sobrepesca (caso de la langosta y el cobo) y determinado recurso se pone en riesgo de desaparecer si no existe un manejo adecuado y este es imposible efectuarlo sin la ayuda de la estadística pesquera.

Es importante identificar los tipos de datos que se necesitan y las prioridades y procedimientos que se deben emplear para la obtención de los mismos, así como el presupuesto y la fuerza de trabajo disponible para la implementación del sistema de recopilación de información.

Estado biológico del recurso

Para conocer el estado biológico de un recurso es imprescindible lograr contestar las preguntas siguientes: *¿Qué tipo de pez es este?*: Es importante diferenciar las especies por su apariencia, épocas de reproducción, relaciones interespecíficas, hábitat, hábitos alimenticios y por su categoría en el mercado.

¿Dónde vive?: Las especies en el medio marino están asociadas a ecosistemas específicos.

¿Qué edad tiene? ¿Qué tan rápido crece?: Esta información se obtiene por muestreos que permiten establecer la composición largo-peso y estudios particulares de edad. El crecimiento en los organismos acuáticos puede estar afectado por innumerables factores, como son: edad, época reproductiva y otros, por ejemplo: mientras más jóvenes, más rápido crecen; si están en época de reproducción la velocidad de crecimiento es mínima.

¿Cuáles son sus hábitos alimentarios?: Esto permite conocer si es una especie de hábito diurno, nocturno o crepuscular, o sea, que se alimenta al amanecer o al anochecer, cuestión importante para determinar la hora de pesca.

¿Cuánta descendencia producirá? ¿A qué edad tiene su descendencia?: La habilidad de una especie para la reproducción depende de múltiples factores, existen métodos para estimar el potencial reproductivo de las mismas. La fecundidad de las especies es mayor con el incremento de tallas y edad. Mediante estudios se estiman las tallas de madurez sexual de las distintas especies. En la reproducción inciden factores externos como son la temperatura, duración de la luz solar, abundancia de alimento, etcétera.

¿En qué lugares se encuentra en las distintas épocas del año?: Las especies acuáticas realizan migraciones durante su vida. Estos movimientos migratorios pueden ser provocados por: alimento, temperatura, condiciones del agua (turbidez, salinidad, contaminación, etcétera) y estrategias reproductivas.

¿Qué es la pesca responsable?: En 1992 la Conferencia Internacional sobre Pesca Responsable efectuada en México, aprobó la Declaración de Cancún, donde se definió el concepto siguiente:

“La pesca responsable es la utilización sostenida de los recursos pesqueros de manera armónica con el

medio ambiente; el uso de prácticas de captura y de acuicultura que no dañen los ecosistemas, los recursos o su calidad; la incorporación del valor añadido a dichos productos por medio de procesos de transformación que cumplan las normas sanitarias exigidas; el uso de prácticas comerciales de manera que el consumidor tenga acceso a productos de buena calidad”. Este concepto se refiere a cómo se deben explotar los recursos, y a las normas de su procesamiento y comercialización. Indica que la actividad pesquera debe realizarse no solamente pensando en producir hoy, sino también en prevenir el mañana.

Recursos pesqueros y su administración

El paso de las redes de arrastre por el fondo marino destruye y transforma los ecosistemas, sin embargo, es un método eficiente para capturar grandes cantidades de peces a un costo relativamente bajo.

Otros tipos de artes de pesca también han transformado el hábitat marino y han amenazado seriamente las poblaciones de varias especies; la utilización entre otras, del palangre en la pesca de altura y poderosos sistemas de arrastre producen daños incidentales a tortugas, aves y mamíferos marinos; por supuesto, la pesca artesanal, la deportiva y la no controlada que incumplen las medidas regulatorias establecidas, han sido las responsables de grandes pérdidas de la diversidad biológica marina.

Los recursos vivos del mar son de carácter renovable; para optimizar su explotación los estados con intereses pesqueros asumen estrategias que permiten el máximo rendimiento cada año, sin que exista el peligro de extinción o de disminución a niveles que no justifiquen la continuidad de la actividad extractiva. El diseño de dichas estrategias es el objetivo primario del proceso de evaluación y administración pesqueros. Para alcanzarlo, no basta con conocer el estado actual de un recurso, se debe también predecir la evolución de la abundancia ante distintas circunstancias, la incorporación de nuevos individuos a la población sujeta a explotación y los niveles de extracción futuros.

La administración de un recurso pesquero es un proceso complejo que requiere de la integración de su biología y ecología con los factores socioeconómicos e institucionales que afectan al comportamiento de los usuarios (pescadores), y de los responsables de su administración. Aún cuando y los planes de administración han mejorado ostensiblemente a través del tiempo, gracias a la obtención de series de tiempo prolongadas y a la elaboración de modelos sofisticados, muchos recursos pesqueros críticos han sido inevitablemente sobrexplotados, llegan incluso a niveles cercanos a su colapso.

La administración o el manejo pesquero es “el proceso integrado de reunir información, análisis, planificación e implementación, si es necesario mediante leyes, de regulaciones o reglas que gobiernen las actividades pesqueras, para asegurar la productividad continuada de los recursos y alcanzar otros objetivos pesqueros”.

En la actualidad se explotan no menos de 150 especies marinas diferentes y excepto unas pocas como langostas, camarones, bonito y albacora, ostiones, cangrejos, almejas, esponjas y quelonios, que mantienen una pesca especializada, las restantes se capturan mediante pesquerías multiespecíficas.

Para establecer *medidas de manejo para regular una pesquería* se tienen en cuenta los criterios de:

- *Conservación del recurso.*
- *Eficiencia económica.*
- *Valores sociales y culturales.*
- *Viabilidad administrativa.*
- *Aceptabilidad política.*

Usualmente los recursos pesqueros se consideran de acceso abierto o de propiedad común, partiendo del principio de que pueden ser explotados libremente en dependencia de los recursos materiales disponibles para ello.

Resulta un hecho llamativo que precisamente las especies más importantes en las pesquerías cubanas (langosta y camarón) se caracterizan por tener no sólo un acceso limitado, sino que también existe una división territorial de las zonas de pesca, mientras que paradójicamente, en especies menos abundantes esto no ocurre así, y pueden producirse fenómenos de competencia en los recursos de la plataforma cubana.

Las principales herramientas de manejo utilizadas son: *Límites de talla*: Se establecen para garantizar que los individuos (de ambos sexos) se reproduzcan al menos una vez y que se pesquen con tallas adecuadas.

Limitaciones del esfuerzo: Son los límites de captura para la pesca recreativa y la pesca comercial con el propósito de lograr la estabilidad de sus poblaciones. *Vedas en tiempo y espacio*: Son las restricciones temporales y espacio temporales que prohíben la pesca durante un período de tiempo en determinada área, con el objetivo de proteger las áreas de cría y a la población *desovadora* durante la época de reproducción.

Control de la selectividad del arte: Permite el escape de los juveniles, dándole la oportunidad de crecimiento e incorporación a la biomasa explotable.

Se requiere que el administrador actual de las pesquerías esté familiarizado con las legislaciones nacionales, internacionales e instrumentaciones voluntarias.

Entre estas legislaciones se encuentran la Convención de las Naciones Unidas sobre la Ley del Mar, la Convención para el Comercio Internacional en Especies Amenazadas en la Fauna y Flora Silvestres (CITES), y la Convención sobre la Diversidad Biológica. El administrador pesquero debe estar consciente de los organismos internacionales a que pertenece su país, así como a los convenios firmados por este y a las implicaciones y obligaciones de su condición de miembro.

Maricultivo

El cultivo de organismos marinos "*maricultivo o acuicultura marina*", surgió desde épocas remotas por la necesidad de obtener alimento para las comunidades costeras, sobre todo en épocas de condiciones climáticas adversas. Las referencias más antiguas sobre el cultivo de peces y crustáceos provienen de China durante el siglo XII a.n.e., en la actualidad esta práctica continúa sin cambios sustanciales.

Inicialmente, áreas de manglares fueron convertidas en estanques más grandes para la captura de los organismos pequeños, y a través de los siglos estos sistemas de captura, retención y cría, y debido al conocimiento y desarrollo de tecnologías adecuadas, se optimizó la producción de peces y camarones proveniente del cultivo extensivo en estanques, esto dió como resultado el policultivo de peces y camarones, y se convirtió en una parte integral de la subsistencia de estas comunidades.

Sin embargo, debido a lo elevado de los costos de producción y la falta de infraestructura científica y técnica en algunos países, el desarrollo del maricultivo se ha basado principalmente en el engorde de postlarvas o alevines y juveniles capturados en el medio natural. Este desarrollo ha traído como resultado modificaciones en las poblaciones de los organismos objeto de cultivo.

Una alternativa para la obtención de los mismos sin dañar el medio natural, ha sido la producción de postlarvas en ambientes controlados de laboratorio. Para seleccionar la especie que se va a cultivar deben tenerse presentes aspectos tales como: alto valor en el mercado; ciclo de vida corto, alta fecundidad, baja tasa de mortalidad en el cultivo, resistencia ante cambios ambientales, crecimiento rápido y alta rentabilidad del cultivo.

Los sistemas de cultivo más antiguos eran todos del tipo extensivo, que son los de menor productividad por unidad de superficie; tanto la demanda de proteína en el mercado, como el desarrollo de la ciencia y la técnica, propiciaron la sustitución del método tradicional por sistemas más productivos, como son los:

semintensivo, intensivo, o los superintensivos para la producción de recursos marinos.

Acuicultura marina

Los criterios para su clasificación son:

Según su posición con respecto a la costa:

- En mar abierto donde se realizan cultivos en jaulas flotantes.
- En diferentes posiciones en la franja costera pueden ser litoral, supralitoral o sublitoral.
- En centros de obtención de larvas, estanquerías o corrales para el engorde, cría y repoblación de áreas naturales.

Según la intensidad del cultivo:

Diferentes aspectos tienen incidencias en este sentido, tales como la densidad de organismos a emplear y el manejo de la calidad del agua entre otros, las formas de cultivo son: extensiva o cultivos de baja densidad, la intensiva con altas densidades de peces y las variantes intermedias que mezclan los aspectos de anteriores clasificaciones (cultivo semintensivo).

Según la etapa del ciclo de vida:

- Ciclo completo desde huevos hasta adultos que incluyen centros de desove, manejo de reproductores y engorde hasta talla comercial.
- Partes o etapas de vida, centros de desove, o centros de engorde cuando funcionan de forma independiente.

Según su objetivo:

- Educativos: En acuarios o centros de estudios que permitan la observación del comportamiento de los organismos y la conservación *ex situ*.
- Científico-Técnicos: Puede incluir todas las variantes desde el cultivo de baja densidad hasta las más complejas (cultivos intensivos, policultivos, etcétera).
- Producción: Dirigida a alcanzar los máximos resultados, manejan generalmente 1 o 2 especies y son centros especializados en cultivos específicos.

Aunque algunas biotecnologías representan un concepto relativamente innovador, se aplican desde hace muchos años. Una de estas es la fertilización de los estanques con el propósito de aumentar la disponibilidad de alimentos naturales para los organismos en cultivo (peces, crustáceos y moluscos). Otras son más modernas y se basan en el rápido desarrollo de los conocimientos de la genética y la biología molecular. La aplicación de la biotecnología genética en este campo, se centra en el aumento de las tasas de crecimiento de las especies a cultivar, pero también mejora la resistencia a las enfermedades y la tolerancia fisiológica a condiciones ambientales extremas.

Principales especies en cultivo:

Los peces y crustáceos de aguas marinas y salobres han dominado en gran parte los sistemas de maricultivo, seguido por los moluscos. La mayor parte de la producción mundial de los crustáceos cultivados ha estado dirigida, por su interés comercial y difusión de técnicas precisas, a los camarones peneidos. Esta tecnología ha venido tomando auge mundialmente desde los primeros estudios de investigación iniciados en Japón en 1933. Gracias al trabajo de muchos investigadores y cultivadores de la industria privada alrededor del mundo, la tecnología del cultivo de camarón se encuentra actualmente desarrollada. Los peces, al igual que los camarones, son muy estudiados para el desarrollo del cultivo de los mismos. Otros organismos marinos como los moluscos se investigan y cultivan, el crecimiento en este sector se ha mantenido en ascenso en los últimas décadas. La producción de plantas acuáticas también se realiza bajo técnicas de maricultivo, con un crecimiento anual estable desde 1970. Existe también en algunos países el desarrollo del cultivo de especies llamadas no tradicionales como

las ostras perleras, caracoles como el conocido cobo, pulpos y esponjas, entre otras.

En el caso de las ostras perleras, aunque la inversión inicial requiere de un período de al menos 5 años para alcanzar los primeros resultados productivos, estos son altamente rentables y de un relativo bajo costo de inversión inicial y mano de obra. Las perlas pueden alcanzar entre 10 y 100 la unidad, en dependencia de la calidad y el tamaño (en bruto); cuando se comercializan a través de productos de orfebrería la ganancia es mayor.

Respecto al cultivo de cobo existe en algunos países la tecnología, esta puede ser una variante importante para la repoblación de las zonas de pesca, con lo que se garantiza una producción estable y el cumplimiento de las medidas regulatorias existentes.

Importancia regional y mundial:

Durante los tres últimos decenios, el maricultivo se ha ampliado, diversificado, intensificado y renovado tecnológicamente. El potencial de este ha servido para combatir la pobreza, aumentar la disponibilidad mundial de alimentos, el crecimiento económico, el comercio y los niveles de vida, además de proteger y conservar el medio natural.

Calidad, inocuidad y comercio de los productos cultivados:

En la actualidad ha aumentado la tendencia de los consumidores a comprar productos *acuáticos orgánicos*. Este sector está rezagado comparado con la agricultura en lo que respecta al volumen y diversidad de los productos *orgánicos* certificados, debido a la falta de normas internacionales, regionales y nacionales y de criterios de certificación de los productos acuícolas orgánicos. Los organismos de certificación existentes y los acuicultores orgánicos se reducen fundamentalmente a un pequeño grupo de organizaciones de los países desarrollados de Europa, Oceanía y América del Norte.

Varios organismos y grupos examinan y aplican programas de certificación orgánica y otras formas de «ecocertificación». Con ello se permite a los consumidores elegir los productos que, en su opinión, son de mayor calidad o más sanos y que se han cultivado de forma ecológica. Los precios de los alimentos cultivados orgánicamente normalmente gozan de un incremento de precio que varía entre 10 y 50 % con respecto a los productos convencionales. Estos precios más elevados ofrecen a los cultivadores incentivos para aumentar la producción orgánica, pero ello significa mayores costos de producción, asociados a las medidas de protección del medio ambiente. Cuando la certificación no es discriminatoria y está basada en normas técnicas y científicas válidas, puede ayudar a los consumidores a utilizar su capacidad adquisitiva para alentar prácticas de producción ecológicamente aceptables.

Desarrollo del maricultivo en Cuba

Teniendo en cuenta la tendencia decreciente de las pesquerías en el medio natural, el maricultivo, como el resto de las ramas de la acuicultura, es una reserva estratégica para el crecimiento de la producción pesquera.

La camaronicultura, rama de la acuicultura marina que se ocupa del cultivo de camarones, representa hoy día la primera prioridad del desarrollo pesquero de Cuba, ininterrumpido desde la década de los años ochenta. Para el funcionamiento de nuevas granjas se cuenta con instalaciones que cubren más de 60 000 hectáreas distribuidas por todo el país, actualmente se encuentran en explotación las ubicadas en las región central y oriental.

Existen suficientes condiciones para el desarrollo de estas técnicas contando con las inversiones necesarias, las bondades del clima que favorecen el crecimiento de los animales durante todo el año, hay disponibilidad de personal calificado necesario y un merca-

do en expansión. El programa de desarrollo vigente prevé que el incremento de las producciones se logre por el aumento de la eficiencia de las actuales y futuras instalaciones, y con sistemas productivos que proporcionen rendimientos mediante técnicas semintensivas mejoradas e intensivas.

El maricultivo basado en el cultivo de peces, se realiza con la aplicación progresiva de técnicas de alevinaje y engorde, incorporación de nuevas especies y desarrollo de instalaciones especializadas.

En 1996 se introdujo la corvina roja (*Ciaenops ocellatus*), de la cual existe un banco de reproductores en la Estación Yaguanabo (Cienfuegos) y más recientemente se introdujeron la lubina (*Dicentrarchus labrax*) y la dorada (*Sparus aurata*), que sustentan los proyectos de Granma, La Habana y Pinar del Río con la participación de inversionistas extranjeros.

En las aguas cubanas hay especies de peces muy interesantes para las tecnologías de cultivo, entre ellas pueden citarse la lisa (*Mugil sp*), palometa (*Trachinotus sp*), robalo (*Centropomus undecimalis*), cherna, meros (*Epinephelus sp*) y pargos (*Lutjanus sp*).

Como resultado de los estudios de las instituciones nacionales involucradas en estas técnicas, se han seleccionado las zonas de la plataforma cubana adecuadas para el cultivo de peces marinos en jaulas, tomando en cuenta la localización geográfica, batimetría, eventos meteorológicos y oceanográficos, fuentes y grado de contaminación de sus aguas.

Como parte del Programa de Desarrollo Ostrícola, se crearon tres centros para la producción de semilla en Granma, Holguín y Sancti Spiritus, que permiten disponer de una valiosa fuente de trabajo femenina en las localidades pesqueras.

3.3 Causas y consecuencias de la contaminación en el mar

Para reflexionar sobre la contaminación marina, es necesario tener claro que *el ambiente* es parte integral del proceso de desarrollo, incluyendo la relación e interdependencia que existen entre los seres humanos y los recursos naturales. El medio ambiente es el conjunto de condiciones externas que afectan a un organismo u otro sistema determinado durante su vida. Dado lo anterior, el cambio ambiental se debe a: acontecimientos naturales, a los diversos modelos de desarrollo y a los hábitos y estilos de vida.

Las modificaciones del ambiente provocan consecuencias socioeconómicas que afectan la calidad de vida, las cuales se han convertido en polémica pública, principalmente a partir de la década de los años cincuenta, por eventos de contaminación que provocaron problemas en el equilibrio ecológico de algunas regiones del planeta.

Después de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (1972) surgió un movimiento pro ambientalista, con la participación activa de los sectores públicos y privados. Hace 20 años este movimiento hacía hincapié en el modo de mitigar la contaminación y la explotación destructiva de los recursos naturales, hoy también interesan en las preocupaciones ambientales, el crecimiento económico y el desarrollo.

La percepción inicial de que el ambiente imponía una limitación a la actividad económica ha cambiado, se ha convertido en un reconocimiento al hecho de que sólo mediante el respeto al funcionamiento de los ecosistemas, es posible promover el desarrollo económico de manera sana y aprovechar las oportunidades que permiten el uso idóneo y la conservación del ambiente.

El proceso de desarrollo del pensamiento humano sobre las cuestiones del ambiente y las causas que originan, o pueden originar, impactos negativos, dieron paso al concepto de manejo ambiental (diseño de estrategias que armonicen e integren los objetivos de conservación ambiental y uso racional de los recursos

naturales, con los programas de desarrollo socio-económicos).

Política de valoración de los recursos del ecosistema

La evaluación de las actividades productivas de las últimas décadas en los ecosistemas costeros, muestra un conflicto entre dos lógicas diferentes: la de la naturaleza y la de un proyecto social productivo que solo ha podido organizarse mediante una alta tasa de degradación de los diferentes componentes del ecosistema. Las proporciones que este conflicto alcanza en los países de la región del Caribe, han perturbado considerablemente, en algunos casos de modo irreversible, el potencial productivo de los ecosistemas costeros, y a corto plazo amenaza con ampliar la escala del problema si no se ejecutan medidas para invertir estas tendencias.

En las últimas décadas los gobiernos de la región se han visto forzados a crear condiciones para aprovechar los recursos del ecosistema, mediante un conjunto de obras y actividades en función del bienestar de la población, entre las que se encuentran:

- Sistemas de manejo del agua.
- Sistemas de comunicación y transporte.
- Actividades agrícolas y ganaderas.
- La pesca.
- Actividades industriales.
- Crecimiento urbano.

No cabe duda que estas obras han desempeñado un importante papel en los aparatos productivos de los países de la región, pero también han provocado importantes alteraciones en el gran complejo denominado *medio ambiente*, en particular, en el caso que nos ocupa, los ecosistemas costeros.

A manera general, estas pueden resumirse en:

- Cambios en la configuración de la cuenca.
- Transformación de los patrones del flujo del sistema fluvial en el lacustre.
- Reducción del aporte natural de nutrientes en la cuenca baja de áreas vitales.
- Cambios en las vías naturales de circulación de agua y de los sistemas de drenajes.
- Cambios en los niveles freáticos.
- Incrementos de las fuentes de contaminación de las aguas.
- Cambios en los estilos de vida de la población.
- Pérdidas, destrucción y segmentación de hábitats y espacios ecológicos vitales.
- Desestabilización de los sistemas de almacenamiento de nutrientes y materiales.
- Desequilibrio y desaparición de áreas de migración, refugio, crecimiento, alimentación y cría de especies valiosas.
- Modificación de la erosión de los suelos de las pendientes costeras.
- Pérdidas de suelos y paisajes.
- Carencia de normas de planificación de asentamientos urbanos.
- No tratamientos o tratamientos incorrectos de residuales urbanos e industriales.

Contaminación de las zonas costeras

Para el adecuado manejo ambiental de una zona costera, resulta imprescindible contar con la información básica sobre la calidad de la misma, así como de las posibles causas que han ocasionado, o pueden potencialmente ocasionar, el deterioro de la calidad ambiental. Los especialistas definen la *contaminación marina* como «la introducción por el hombre (directa o indirectamente) de sustancias o energía en el medio marino, incluidos los estuarios, que producen o pueden producir efectos perjudiciales tales como: daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marinas,

incluidas la pesca, deterioro de la calidad del agua de mar para su utilización, incluyendo zonas de esparcimiento.

Para que exista contaminación se requieren dos condiciones:

- Una participación humana.
- Que se produzcan efectos perjudiciales.

Relacionado con esto último, es importante rechazar el viejo y cada vez más anacrónico concepto de que «los mares asimilan todo lo que en ellos se vierta», pero también marginar el ecologismo ultra conservador.

Los mares de las zonas costeras constituyen alrededor de 10 % de la superficie oceánica total del planeta (incluye estuarios, aguas interiores, mares y aguas marginales de la plataforma y del talud continental) y las zonas costeras son lugares de intensa actividad biológica. En ella ocurren importantes procesos productivos y reciben aportes de materia orgánica de diversas fuentes. Sin embargo, estas zonas también reciben un continuo incremento poblacional e industrial que generan residuos, cuyo destino final es el mar.

Los distintos aportes terrestres del planeta hacia el mar, aportan un flujo de millones de toneladas anuales de materiales por tres importantes agentes movilizados: ríos, glaciares y vientos. El hombre incorpora además, una carga que representa la décima parte de la carga que recibe el mar por vías naturales, pero esta que aporta el hombre, aunque es menor, tiene mucha más importancia y efectos, ya que sus componentes representan mayor riesgo.

Se incluyen como causas contaminantes de las zonas costeras, el vertimiento de sustancias orgánicas disueltas y de sustancias inorgánicas solubles, entre ellos, nutrientes y microorganismos de distintos orígenes.

Categorías de contaminantes según su peligrosidad:
Clase I: Fácilmente degradables, baja toxicidad, no bioacumulables; por ejemplo: temperatura, color, olor, sulfuros, cloruros, aceites y animales.

Clase II: Toxicidad media y/o no bioacumulables; por ejemplo: aceites minerales, sustancias tensoactivas, cianuros, cloro.

Clase III: Tóxicos bioacumulables y poco o no biodegradables; por ejemplo: metales pesados, plaguicidas, etcétera.

Investigación y evaluación de la contaminación de la zona costera

La evaluación del impacto ambiental (EIA) puede definirse como «el análisis destinado a identificar, evaluar, predecir y prevenir cualquier alteración estructural o funcional de los componentes naturales y/o socio-económicos del ambiente del área en cuestión, generada por una actividad particular». Poder identificar y evaluar al ecosistema costero, es la primera y obligada etapa para una correcta EIA. En la planificación de cualquier estudio ambiental, tres criterios teórico-prácticos son necesarios conjugar: factibilidad de acometer el estudio, datos primarios confiables y responder a las interrogantes ambientales.

Al estudiar una zona dada, el conocimiento básico que se posea *a priori*, permitirá tener una idea de la situación general. El grado de exactitud alcanzable dependerá, en buena medida, de la calidad de esa información previa. Puede pensarse entonces en tres posibilidades:

- La zona está contaminada, pero ¿cuál es el alcance del área afectada y la magnitud de dicha afectación?, ¿qué componentes bióticos y abióticos son los perjudicados?
- Pudiera existir contaminación.
- La zona es aparentemente «limpia», por tanto, deben esperarse niveles y comportamientos «normales» o «naturales» de las variables analizadas.

Las investigaciones para evaluar la calidad ambiental de zonas costeras, se basan en la evaluación de indicadores bióticos y abióticos así como de

do precedido de inadecuadas prácticas agrícolas, la deforestación y la sobreexplotación pesquera. La presión de la población es uno de los factores más importantes en la pérdida de producción de las pesquerías.

La deforestación es la causa principal del incremento de las cargas de nutrientes y sedimentos en los ríos tributarios a las zonas costeras, con consecuencias negativas para los arrecifes coralinos y ecosistemas de mangles, que constituyen el hábitat natural para peces y otros organismos, esta situación provoca síntomas de eutrofización y pérdida de especies. Estas amenazas pueden ocurrir a todas las escalas, desde el impacto ocasionado por un grupo pequeño de pescadores en una bahía o ensenada, hasta la amenaza de sobrepesca regional.

Cuadro 3 Escala de amenazas para la biota marina.

Categoría de amenazas	Impactos a macro-escala (regional)	Impactos a meso-escalas (subregiones)	Impactos a micro-escala (país o estado)
Impactos de la captura masiva y la pesca artesanal	Posible extinción de especies más allá de las escalas biogeográficas	Pérdida de poblaciones, agregaciones de desova o disminución dramática en la abundancia de especies (rol ecológico alterado)	Extirpación local de una especie de una isla o de un ecosistema costero aislado
Degradación y cambios de la calidad del cuerpo de agua	Posible extinción de especies más allá de las escalas biogeográficas	Grandes escalas cambian la productividad o diversidad provocando pérdida de estabilidad o producción, especialmente pérdida de pescas productivas. Mortalidad masiva de peces	La contaminación local altera el uso o utilidad del hábitat en áreas del litoral. Extirpación eventual de algunas especies con necesidad del hábitat

3.4 Sedimentos oceánicos y playas

El estudio de los sedimentos que, durante cientos de miles de años se han depositado en los fondos de los mares y océanos, ha dado respuesta a numerosas incógnitas y de hecho ha fundamentado múltiples hipótesis relacionadas con la formación del planeta y de las propias cuencas oceánicas, como se ha visto en capítulos precedentes.

En su origen los sedimentos de las cuencas oceánicas fueron aportados principalmente por los procesos de erosión de la superficie del planeta, así como por la deposición de polvos cósmicos que dieron lugar a los potentes depósitos de sedimentos que cubren el lecho marino. La distribución y composición de los sedimentos, constituyen el sustento para la comprensión del comportamiento ecológico del mar y sus recursos.

Distribución y caracterización de los sedimentos en el océano mundial

Los fondos de los mares y océanos constituyen el nivel más bajo de acumulación de sedimentos y en la actualidad resulta la mezcla de todo un conjunto de elementos que conforman la capa sedimentaria del océano.

La relación entre los distintos componentes de los sedimentos, no es la misma en todo el fondo del mar y en cada punto existe una dependencia de diferentes factores, entre los que pueden citarse:

- La situación respecto a las costas y el litoral, la estructura y composición de la zona costera, el caudal fluvial, etcétera. Estos pueden determinar la cantidad y calidad de la carga de detritos que se deposita en los fondos marinos.
- La influencia de las condiciones hidrológicas e hidroquímicas y de los procesos de descomposición de los organismos que mueren.
- La hidrodinámica del sistema, que incide en el movimiento de las partículas en suspensión y de los sedimentos.
- El relieve y la profundidad, que influyen en los desplazamientos y la acumulación de los sedimentos.

En dependencia de la fuente que los produce, se clasifican en cinco tipos: terrígenos, organógenos, (restos esqueléticos de organismos marinos), químicos, volcánicos y cósmicos.

Los terrígenos son el resultado de la erosión de las rocas en las superficies continentales, proceso mediante el cual se producen partículas de diferentes tamaños. Una parte de estas partículas permanecen en su lugar, pero otras son transportadas por los ríos, el viento o por el escurrimiento fluvial hacia lugares muy alejados de su origen; llegando un volumen considerable de las mismas a depositarse en el fondo marino.

Durante este proceso de formación y transporte de sedimentos y según sus cualidades mecánicas y composición, estos toman variadas formas que van desde cantos y gravas hasta arcillas muy finas que se depositan, fundamentalmente, en la línea costera y el fondo

de la plataforma continental. No obstante, a pesar de ser común este tipo de sedimento en aguas someras, puede encontrarse a grandes profundidades y a distancias considerables de la costa.

Los sedimentos organógenos se forman debido a la acumulación de restos de organismos marinos en el fondo (peces, algas calcáreas, moluscos, crustáceos, microorganismos y arrecifes coralinos), aportando grandes cantidades de sedimentos. En las aguas someras, sobre todo donde hay un pobre

aporte terrígeno, los organismos del fondo juegan un papel esencial, formando a menudo acumulaciones como rocas de conchas y corales.

Los sedimentos químicos son el resultado de la deposición de las sustancias inorgánicas en el fondo marino. El mar recibe un aporte permanente de sales minerales disueltas, una parte es asimilada por los organismos marinos, otra pasa al agua o precipita en forma de diferentes compuestos, formando los sedimentos químicos del mar.

Los sedimentos volcánicos se encuentran, fundamentalmente, en las regiones próximas a volcanes activos, tanto en aguas profundas como someras, pueden estar conformados por arenas o fangos y su color corresponde al de las rocas que los originan.

Los sedimentos cósmicos son el resultado de la combustión de los meteoritos que penetran en la atmósfera terrestre, comúnmente se encuentran en el lecho oceánico como inclusiones minerales en forma de diminutas partículas de ferromagnetita que forman el polvo meteórico.

Clasificación de los sedimentos según su situación en el océano

Esta clasificación parte de la distribución espacial de los sedimentos sobre los distintos elementos del relieve submarino: plataforma continental, talud continental, lecho oceánico y depresiones profundas; y se divide en cuatro grupos:

Sedimentos Litorales: Se originan en la franja costera anegada en la pleamar y emergida durante la bajamar, se caracterizan por la variabilidad de sus condiciones, donde interactúan el aire, la tierra y el agua, por lo que se producen importantes cambios en períodos cortos de tiempo.

Sedimentos de la plataforma continental: Están muy influenciados por la acción del oleaje en las partes

menos profundas y por la riqueza y variedad del mundo orgánico. Aquí se acumulan sedimentos de distintas clases; terrígenos, organógenos y químicos.

Sedimentos del talud continental o batiales: Debido a la tranquilidad de las aguas en esta zona y la pobreza de organismos bentónicos sus sedimentos presentan una gran homogeneidad, predominan los terrígenos y organógenos originados por los organismos planctónicos principalmente.

Sedimentos del lecho oceánico: Esta zona está muy alejada de la costa y se caracteriza por la ausencia de materiales terrígenos, por lo cual los de origen organógeno son los de mayor predominio.

Sedimentos de la plataforma marina cubana

Los sedimentos más recientes de los fondos marinos de Cuba presentan variada composición, relacionada esta con la manifestación de distintos procesos y factores, los tres principales son:

- La deposición del carbonato de calcio.
- La producción de *biodetritos calcáreos* a partir de macros y microorganismos marinos.
- Los arrastres de sedimentos desde las zonas emergidas por medio de los ríos.

Estos procesos se manifiestan aislados o combinados entre sí. En la plataforma cubana existe estrecha relación entre los procesos de formación de los sedimentos y los factores climáticos. Esta dependencia, para el caso de Cuba, se pone de manifiesto en primer lugar, en el predominio que tienen los depósitos carbonatados en comparación con los terrígenos, los mismos abarcan una extensa superficie de la plataforma marina cubana representados por una elevada variedad de sedimentos.

Los carbonatados procedentes de los organismos marinos, predominan dado el fuerte desarrollo que tienen en el trópico los *biocomponentes* marinos (algas calcáreas, moluscos, foraminíferos, entre otros).

Otros se originan por su precipitación química, dando lugar a la formación de los depósitos *oolíticos* muy difundidos en la cayería norte de Cuba y en la plataforma este de la Isla de la Juventud.

No menos importancia tiene la formación de los sedimentos terrígenos que encuentran su mayor difusión en la plataforma sur de Cuba, donde vierten sus aguas los principales ríos y donde se crean condiciones dinámicas que propician la deposición. En la costa sur se mezclan con los biocomponentes calcáreos, los de origen químico y los residuos de una elevada producción de *fitobentos*, aumenta así la variedad de los tipos de sedimentos.

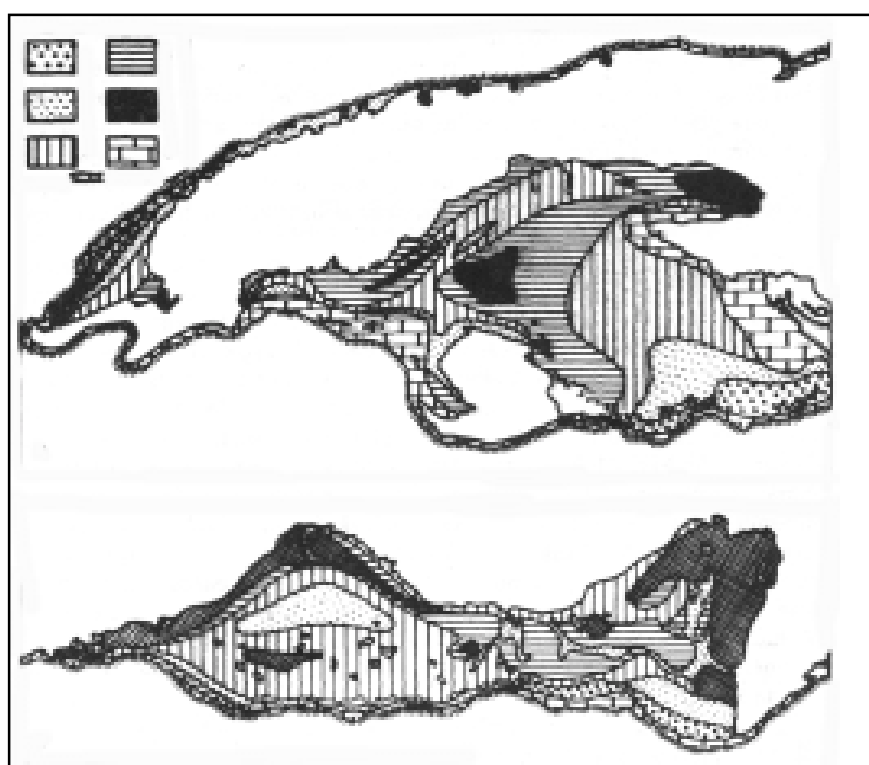


Fig. 37 Tipos de sedimento de la plataforma cubana.

Las playas de Cuba y el éxito de sus planes de recuperación

Las playas son una de las formas del relieve litoral caracterizadas por materiales sueltos de diferente granulometría en áreas emergidas y submarinas, que manifiestan procesos de erosión y acumulación por alteraciones de origen natural o antrópico. Desde un punto de vista práctico y atendiendo a las definiciones del Decreto Ley 212 del manejo de zona costera, el límite hacia tierra de las playas está determinado por el borde extremo hacia tierra de la *duna* más próxima al mar.



Fig. 38 Zona de una playa de la costa norte.

En ausencia de dunas se toman en cuenta los aspectos siguientes:

- El límite será la línea ubicada a 40 m hacia tierra, medidos a partir del inicio de la franja de vegetación natural más próxima al mar.
- Si apareciera el acantilado, ubicado a menos de 40 m hacia tierra, medidos a partir del inicio de la franja de vegetación natural más próxima al mar, el límite hacia tierra estará dado por la cima de dicho acantilado;
- Si el área colindante resultara ser una laguna costera con manglar, el límite estará definido por la penetración máxima del bosque de mangle existente. Definido en el inciso (d) de dicho decreto.

Aunque no existe una definición precisa del límite hacia el mar de la playa, regularmente se considera la profundidad en la que el efecto de las olas en el movimiento de sedimentos se hace insignificante, lo que se produce con mayor frecuencia entre 10 y 20 m.

Para la formación de una playa deben combinarse tres elementos:

- Existencia de una fuente de aporte material.
- Un régimen hidrodinámico responsable del transporte del sedimento.
- El relieve, en el que tiene una especial importancia la pendiente, pues es quien asegura la deposición del material.

Las principales fuentes de aporte de sedimentos para los sistemas costeros son los sistemas de escurrimiento de agua de las tierras altas, la tierra firme costera, los afloramientos costeros (formados por la acumulación de tierras), los arrecifes coralinos, la muerte de organismos marinos de esqueletos calcáreos, los volcanes y la sedimentación química.

Para la mayor parte de las costas del mundo los aportes de los ríos y la abrasión costera se identifican como las principales fuentes de aportes de sedimentos. Sin embargo, numerosas investigaciones realizadas en la plataforma insular y el borde costero de Cuba, permiten afirmar que las fuentes biogénicas y químicas juegan el rol principal en la formación de las playas.

El régimen hidrodinámico es el encargado de poner en movimiento los materiales y llevar a cabo el modelado de la playa. La pendiente es importante en la dispersión de la energía del oleaje al aproximarse a la costa, si es suave, favorece la llegada de sedimentos a la costa y su deposición, y si es fuerte esto no ocurre.

La tendencia erosiva a largo plazo en la evolución de las playas es un fenómeno generalizado en las costas cubanas, sus causas son naturales y antrópicas.

Entre los factores naturales se encuentran: el incremento e intensidad de las tormentas, reducción del suministro de sedimentos por disminución de la velocidad de erosión, ascenso del nivel del mar y el deterioro de los ecosistemas arrecifales. Entre las actuaciones del hombre están: el represamiento de los ríos, el desvío de los cauces, la minería en las dunas, el dragado de las costas y las obras costeras mal diseñadas.

Los índices más comunes para determinar la erosión de las playas son la formación de *escarpes* (escalones) en la duna, el afloramiento de superficies rocosas y la caída de árboles e instalaciones bajo la acción del oleaje.

La necesidad de lograr la rápida recuperación de las playas ha conducido a la alimentación artificial de arena como método efectivo para contrarrestar el déficit de ingresos naturales, y a la vez como defensa más efectiva de las instalaciones turísticas amenazadas a consecuencia de la erosión.

La alimentación artificial de arena tiene algunas ventajas respecto a la utilización de otras soluciones, no altera el carácter natural de la costa, el resultado es más atractivo y se benefician las áreas aledañas. En la actualidad la alimentación artificial de arena ha sido empleada satisfactoriamente en decenas de proyectos en diversas partes del mundo. En Cuba es considerada la alternativa más conveniente para combatir la erosión.

Este método se va generalizando en los trabajos de recuperación, mantenimiento y creación de playas artificiales del país.

Como ejemplo se puede citar, el vertimiento de 1 087 835 m³ de arena a lo largo de 13 km en la playa de Varadero en 1998. Con esto se pretendía recuperar las condiciones recreativas y estéticas de la playa y garantizar la protección, por el momento, de las instalaciones propuestas para demoler.

El monitoreo llevado a cabo con posterioridad al vertimiento permitió evaluar la efectividad técnica y económica del proyecto. Los datos obtenidos hasta el momento demuestran la validez de los resultados.

3.5 Hidrografía y cartografía náutica

La hidrografía es la rama de la ciencia que tiene por objeto la medición y descripción de las características físicas de la porción navegable de la superficie de la Tierra y áreas costeras adyacentes, con el objetivo de preservar la seguridad de la vida humana en el mar y la reducción de posibles daños al medio ambiente marino y costero causados por accidentes relacionados con la navegación.

Por lo anterior, se llevan a cabo levantamientos hidrográficos y se diseñan y producen cartas de navegación. El costo de cualquier acción correctiva por no poseer cartas y publicaciones náuticas adecuadas y actualizadas, sería sumamente caro para cualquier gobierno y para el ecosistema marino. De ahí se deduce que, garantizar esta actividad es una forma de prevenir accidentes.

Internacionalmente se establecen servicios hidrográficos que incluyen: la colección de cartas náuticas, compilación de las publicaciones y datos hidrográficos, diseminación y mantenimiento actualizado de toda la información náutica necesaria para la seguridad de la navegación, y la publicación de avisos a los navegantes para apoyar y garantizar las maniobras.

La *cartografía náutica* es la ciencia que se encarga de representar gráficamente, en forma de cartas náuticas, cartas batimétricas, etcétera; los detalles físicos



Fig. 39 Carta náutica.

del fondo del mar y sus costas adyacentes, incluyendo información de interés para la navegación. Este término se aplica también para designar al conjunto de trabajos y actividades diversas de las personas que contribuyen a la elaboración de las cartas.

Las cartas náuticas están diseñadas especialmente para cubrir las necesidades de la navegación marítima, constituyen una representación del mar o de una parte de él con sus costas adyacentes, confeccionadas en un plano, a una escala dada y en una proyección cartográfica determinada, que contiene los elementos geográficos generales, como son: costas, relieve e hidrografía del terreno, vegetación, zonas urbanas costeras, puntos de referencia, puertos, relieve submarino, ayudas a la navegación, etcétera. Tienen un uso económico, científico y para la defensa, y sirven al navegante para ubicar y seguir el rumbo de su barco y determinar su posición en el mar.

Son además, una importante base para la realización de investigaciones científicas y geográficas de los mares y océanos, ya que con su ayuda, los investigadores pueden conocer la conformación del relieve submarino estudiar la distribución de diferentes elementos del fondo y para la administración del medio ambiente.

Existen otros tipos de cartas náuticas: batimétricas, magnéticas, horarios, etcétera. La base fundamental para la elaboración de las cartas náuticas son las *planchetas* de levantamientos hidrográficos, aunque también se utilizan: mapas, fotos aéreas y planchetas topográficas, cartas de variación magnética y otras fuentes literarias como los *Derroteros*, Libro de Señales Marítimas (LSM), etcétera. De su calidad, actualidad y confiabilidad depende directamente la seguridad de la navegación.

El desarrollo de los métodos y medios de navegación presentan nuevas exigencias a la cartografía náutica, esto implica, la elaboración y actualización de nuevos tipos de cartas, en estrecha relación con la hidrografía, la geodesia, la topografía, la teledetección y la geofísica; de las cuales obtiene los datos para la confección de las cartas náuticas. Se debe señalar también la relación de la cartografía náutica con la oceanografía, geología marina, geomorfología y geografía física.

Publicaciones náuticas. Levantamientos hidrográficos y cartografía náutica en Cuba

Una publicación náutica, es un libro de propósitos especiales o una base de datos integrados por todo un conjunto de valiosas observaciones e informaciones. Estas informaciones se editan especialmente por instancias gubernamentales relacionadas con la navegación, y tienen en cuenta todas las regulaciones esta-

blecidas por la Organización Marítima Internacional y la Organización Hidrográfica Internacional.

Los primeros levantamientos hidrográficos en aguas cubanas fueron realizados entre los años 1930 y 1940 por la Oficina Hidrográfica de los Estados Unidos de América. En la década de los años sesenta las mismas carecían de actualización y era inaplazable la necesidad de disponer de cartas náuticas cubanas nuevas, ya en la década de los años setenta se ejecutaron levantamientos hidrográficos de las aguas interiores, territoriales y adyacentes del país. Para esto, fue necesaria la preparación de especialistas, la adquisición de medios técnicos y la creación de capacidades, para hacer eficiente el servicio hidrográfico. Como resultado se logró cartografiar todas las aguas de la plataforma cubana a diferentes escalas. En 1975 Cuba disponía de una colección completa de más de 100 cartas a diferentes escalas incluyendo: cartas generales, cartas locales de los principales golfos, así como los planos y cartas de los principales puertos y sus accesos.

A partir de estos años se realizaron levantamientos con el objetivo de mantener actualizadas las cartas, fundamentalmente en los puertos y sus accesos, a la vez que se ampliaban y perfeccionaban las capacidades productivas en hidrografía, oceanografía y otras ramas afines.

La colección de cartas náuticas cubanas asciende actualmente a 144 títulos y cubre las aguas de la República de Cuba y sus accesos. En la actualidad el Servicio Hidrográfico y Geodésico de Cuba, proyecta continuar la edición de cartas a escalas 1:25 000 y 1:50 000 en determinados sectores de la región marítima, en particular en aquellos donde se proyectan trabajos hidrotécnicos o construcciones costeras.

Las cartas náuticas constituyen una herramienta de navegación desde épocas antiguas, sin embargo han experimentado una evolución como consecuencia del desarrollo de la navegación marítima (los buques son cada vez más grandes y de mayor calado), el incremento y perfeccionamiento de los instrumentos de navegación, la expansión del tráfico marítimo, la creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente y los resultados de pérdidas de vidas humanas y desastres ecológicos por accidentes marítimos.

La versión moderna de la carta náutica es la carta electrónica, la cual ha favorecido la navegación electrónica. Esto responde a la explosión del desarrollo de los medios de comunicación, el impacto de las modernas técnicas de computación en todas las esferas de la vida, la aparición y uso de INTERNET, el surgimiento de los Sistemas de Posicionamiento por Satélite (GPS), la implementación del Sistema de Referencia Geodésico Mundial, los adelantos en las últimas tecnologías de los sondeos hidrográficos, los progresos en la normalización e intercambio de datos digitales, el desarrollo de software para el procesamiento, la presentación y almacenamiento de grandes volúmenes de datos digitales.

Cartas electrónicas para la navegación

Sin dudas, la introducción de los sistemas de cartas electrónicas constituyen una revolución en la navegación marítima. Con la ayuda de estos sistemas el navegante dispone en su puente de mando, de información abundante, variada y actualizada en tiempo real, que puede visualizar en su computadora y le permite tomar decisiones para hacer una travesía mucho más segura.

El equipamiento típico de la carta electrónica integra todas las ayudas a la navegación de a bordo en un solo sistema, incluye la información de la carta, la posición, los parámetros de movimiento del buque, tales como rumbo y velocidad, datos de la ecosonda, información del radar, etcétera.

Consecuentemente, las organizaciones internacionales relacionadas con el tema, han establecido que como únicos equivalentes legales de las cartas de papel

se deben considerar los sistemas de información y presentación de cartas electrónicas (ECDIS), que proporcionan al navegante la información cartográfica y de navegación conjuntamente con la posición dinámica del buque.

La tecnología de ECDIS es catalogada como la mayor ayuda a la navegación desde la invención del radar. Su implementación evidentemente tomará algún tiempo, pero a la larga encontrará una aceptación universal en la comunidad marítima dadas sus ventajas, entre las cuales se pueden enumerar:

- Presentación de la posición del buque y evolución de sus maniobras.
- Posibilidad de integrar la información del girocompás, la corredera, y la ecosonda.
- Sobreposición de la imagen del radar sobre la carta, muy importante cuando se navega en condiciones de intenso tráfico marítimo, y en estrechos o zonas de peligro.
- Alertas informativas y avisos de peligros.
- Posibilidad de actualización automática de las cartas.
- Posibilidad de acceder a información para el navegante.

Todo ello, gracias a la posibilidad de integración de ECDIS con receptores GPS, girocompás, correderas, ecosondas, radar, etcétera.

Las principales desventajas de ECDIS en la actualidad radican en que:

- La creación de las bases de datos para la actualización de las cartas de navegación electrónica (ENC), es un proceso difícil y caro que requiere de importantes inversiones.
- Su implementación a bordo requiere de medios de hardware, por lo general no disponibles para embarcaciones pequeñas.

Todo parece indicar que en el presente y futuro inmediato, los Sistemas ECDIS se continuarán empleando cada vez más, a bordo de los buques de gran porte que transporten cargas peligrosas o los que cumplan misiones especiales (unidades de guerra y guardacostas); mientras que los Sistemas de Cartas Electrónicas seguirán empleándose por embarcaciones de pequeño porte, fundamentalmente yates de recreo y pesqueros.

Las publicaciones náuticas se están preparando en muchos países en versión electrónica para que sean compatibles con los Sistemas ECDIS. Esta variante asegura la llegada rápida de los cambios de la situación hidrográfica y de navegación a los marinos, y por ende, aumenta la seguridad a la navegación.

Desarrollo e implementación de cartas electrónicas en Cuba

La estrategia de automatización de los procesos productivos en la hidrografía cubana, alcanzó también a la cartografía náutica. Se crearon los software de ayuda a la cartografía CARTOCAD primero y TeleMap/CAD, después de automatizar la edición de cartas para impresión.

Por otra parte se creó el Centro Nacional de Datos del Mar (CNDM), donde se reciben, conservan y se procesan los resultados de los levantamientos hidrográficos y otros estudios marinos realizados en todo el país. Una de las principales metas del CNDM es la conversión a formato digital de la información recopilada en las expediciones de los últimos 20 años y que se encuentra almacenada en soportes de papel.

A finales de 1999 se comenzó la producción de las cartas electrónicas en formato raster BSB, y en el 2000 se concluyó la serie de cartas raster de Cuba, que contiene los 145 títulos del portafolio de cartas oficiales. Esta producción permitió restaurar y conservar de manera digital el patrimonio de las cartas originales y mantenerlas actualizadas.

La producción de cartas electrónicas en Cuba se ha desarrollado en diferentes etapas, comenzó en 1995

con las cartas electrónicas vectoriales. Este primer paso permitió la inserción de Cuba en el mundo de la cartografía electrónica con aportes importantes de experiencia práctica y *know how* en la materia.

En el 2002 se realizó el entrenamiento del personal de la Agencia de Cartografía Náutica de GEOCUBA para la producción de cartas electrónicas en formato vectorial S-57, la que permitirá al país disponer de la primera generación de cartas electrónicas para ECDIS. Posteriormente se procederá a la vectorización de las cartas de puertos y bahías, también se pronostica que durante el 2003 concluirá la producción de cartas electrónicas de Cuba con una cobertura de 113 títulos.

Por la experiencia alcanzada en materia de hidrografía y cartografía náutica, Cuba encabeza el Centro de Datos Regional de Cartas Electrónicas del Caribe y el Golfo de México.

Impacto social de esta nueva tecnología

Las ventajas derivadas de este salto tecnológico radican en el incremento de la seguridad a la navegación en regiones con un gran volumen de tráfico o condiciones adversas de visibilidad, teniendo en cuenta los estimados de la Organización Marítima Internacional (OMI), donde se plantea que más de 90 % de los accidentes marítimos y catástrofes que se producen son atribuidos al error humano, principalmente los grandes derramamientos de petróleo y otras sustancias, que provocan daños materiales y ecológicos irreparables al Medio Ambiente.

Uno de los hechos más conocidos es el del tanquero Exxon Valdéz que se varó en las costas de Alaska en 1989. La empresa estadounidense Exxon tuvo que invertir 4000 millones de dólares para la descontaminación de la zona afectada por el derrame de petróleo que se produjo y que provocó un verdadero desastre ecológico.

Esta nueva tecnología, por las ventajas que ofrece, ha revolucionado la Comunidad Marítima Internacional pues permite contar con el soporte técnico necesario para garantizar el intercambio de datos para la producción y actualización de la misma, propicia además el eficiente e interactivo manejo costero de bahías y puertos, así como la protección del medio ambiente.

4. LA ZONA COSTERA Y SU MANEJO INTEGRAL

4.1 Definiciones y realidades. Estrategias actuales y futuras

Por su cercanía al hombre y por constituir un recurso de incalculable valor económico y social, la zona costera ha sido empleada, desde épocas remotas, para diversos usos y propósitos sin una preparación adecuada de la sociedad. Una verdadera conciencia acerca de esta realidad surgió hace solo pocos años, debido al lamentable y evidente estado de deterioro que comenzó a mostrar la zona costera hace 30 o 40 años. Esto ha sido consecuencia de la presión que el hombre ejerce sobre el entorno marino y costero, según sus necesidades de desarrollo económico y social.

Los problemas y síntomas de deterioro se fueron generalizando, en la misma medida en que la sociedad demandaba espacios y recursos, se comenzó entonces a identificar, por parte de diferentes sectores sociales (políticos, administradores, tomadores de decisiones y hombres de ciencia), la urgente necesidad de administrar el "espacio costero".

La zona costera es mucho más que una franja de mar con una línea fronteriza en la tierra o viceversa, la zona costera es un recurso natural único, formado por otros muchos recursos individuales, interrelacionados

mediante procesos y fenómenos en permanente evolución, con un equilibrio dinámico frágil que la naturaleza o el hombre rompen en ocasiones.

En el caso del Archipiélago Cubano, como el de otras pequeñas islas, existen sobradas razones para desarrollar y aplicar un sistema de manejo integrado de sus recursos costeros, debido a que la interrelación entre los mismos es tan fuerte, como lo es su sensibilidad ante las influencias externas (humanas y naturales).

Por lo anterior, la vulnerabilidad de los ecosistemas costeros son factores que deben tenerse en cuenta, junto a otros no menos importantes como son: el reducido espacio físico terrestre y la alta proporción de espacios marinos circundantes, los recursos limitados que poseen que no permiten mucho margen de error en su uso y manejo, la alta sensibilidad a los fenómenos naturales de su entorno (huracanes, ciclones, marejadas, elevación del nivel del mar, etcétera), la poca variabilidad climática, el riesgo a recibir trastornos naturales extremos, la influencia de los sucesos terrestres y los peligros asociados al transporte marítimo, tratamientos de residuales y vertimientos de desechos.

Iniciar y mantener un sistema de manejo integrado de la zona costera requiere de una clara voluntad política y social, así como de sólidas bases científicas que permitan, con rigor, su concepción, elaboración y desarrollo. Esto implica además, enfrentar el manejo de forma abarcadora, con un enfoque integral de los asuntos marinos y costeros, con mayor y mejor comunicación, acercamiento y coordinación entre individuos, instituciones y países.

Cuba ha brindado una significativa atención al mar y sus costas, de donde obtiene una importante fuente de recursos; y como parte de la estrategia nacional para la protección del medio ambiente y los recursos naturales, comparte el criterio de que el manejo integrado de la zona costera debe tener un campo de acciones multilaterales y de permanente cooperación, donde se intercambien las experiencias y los conocimientos.

Panorama actual del recurso zona costera

Una recapitulación de lo que ha significado para el hombre el uso de los océanos y las costas del planeta, indica sin duda, la importancia y el rol desempeñado por estos en el desarrollo de la humanidad, sin embargo, aún no se ha llegado a reflexionar acerca de sus posibilidades de agotamiento, ni mucho menos evaluar detalles relacionados con sus niveles de contaminación, lo que ya es un verdadero objeto de preocupación, a pesar de los indiscutibles avances que se han tenido en materia de ciencia y tecnología. No obstante, resulta curioso establecer la comparación que indica que el hombre ha llegado más lejos a las alturas cósmicas, que a las profundidades oceánicas.

Dos ejemplos básicos pudieran presentarse entonces, el perfeccionamiento e intensificación de una industria pesquera que va por delante de los conocimientos integrales acerca de las capturas máximas permisibles de importantes recursos, y el desarrollo turístico acelerado de las zonas de playas sin el conocimiento adecuado de la dinámica y estabilidad costera, lo que permitiría elaborar recomendaciones efectivas para sus usos, ya que es esta precisamente, la de mayor actividad económica y social en la región del Caribe.

Otros muchos ejemplos podrían ser mencionados para demostrar que en muchas ocasiones el uso de la zona costera ha tenido lugar sin atender las posibles afectaciones del medio ambiente, lo que ha repercutido negativamente en el propio bienestar del ser humano; no obstante, a manera de resumen, podrían citarse el creciente uso de los océanos como vías de transporte y comercio, la extracción de minerales de los fondos marinos, reservada como exclusividad de los países desarrollados y las grandes empresas, etcétera.

En el mar y las costas se encuentran disímiles recursos y el uso de los mismos puede conllevar a un



Fig. 40 Las costas: recursos, usos y asuntos ambientales.

ciclo de relaciones entre estos, sus usos y los asuntos que deberían atenderse al aplicar el sistema integrado de manejo costero.

Los grandes problemas ambientales que la sociedad enfrenta hoy pueden resumirse en:

- Deterioro de los recursos pesqueros por la pesca excesiva.
- Amenaza a la diversidad biológica marina por factores antrópicos y climáticos.
- Degradación de las zonas costeras por el desarrollo industrial, el turismo y la urbanización no controlada.
- Contaminación marina por desechos domésticos e industriales desde fuentes terrestres.
- Influencia de los cambios oceánicos en el clima mundial.
- Sobreexplotación de algunos recursos costeros (petróleo, arena y grava).
- Expansión de la transportación marítima (carga general y petróleo) y la violación de las reglamentaciones para su mejor ejecución.

Lamentablemente, la situación económica imperante en el mundo de hoy es de crisis y presiona a pueblos y gobiernos, y ante esto persiste la falta de capacidad financiera, humana y material para enfrentar los trabajos de investigaciones científicas y de innovación tecnológica que se necesitan para definir y establecer las medidas necesarias para llevar a cabo un programa consecuente con el manejo integrado de la zona costera.

No obstante, se ha avanzado considerablemente en la toma de conciencia acerca de la importancia estratégica de los océanos, tanto para el presente como para el futuro; por ello se reafirma que los océanos y las zonas costeras son factores fundamentales para el desarrollo sostenible de los países por lo que hacer un

uso racional de los recursos costeros garantiza los requerimientos de las futuras generaciones.

La zona costera del Archipiélago Cubano. Algunos problemas ambientales y su enfrentamiento

La zona costera del Archipiélago Cubano como recurso posee un carácter estratégico, constituye no sólo una magnífica oportunidad para el bienestar económico-social del país, sino también significa un gran reto para su desarrollo sostenible. Cuando se habla de la zona costera de Cuba, el turismo pudiera ser el de cualidades más prometedoras en cuanto a ingresos

directos al Producto Interno Bruto (PIB). Algunos autores refieren que en algunos países de la región llega a alcanzar 30% del total de los ingresos nacionales (en algunos casos superior).

En Cuba es incuestionable que el aporte del turismo va alcanzando un nivel significativamente alto, aunque otros sectores de la economía como la pesca, la minería y otros importantes campos de la industria, la actividad portuaria y la agricultura, son también elementos importantes en la utilización de la zona costera y su consecuente influencia.

El turismo es un sector muy sensible y cambiante por la incidencia de factores internos y externos, de

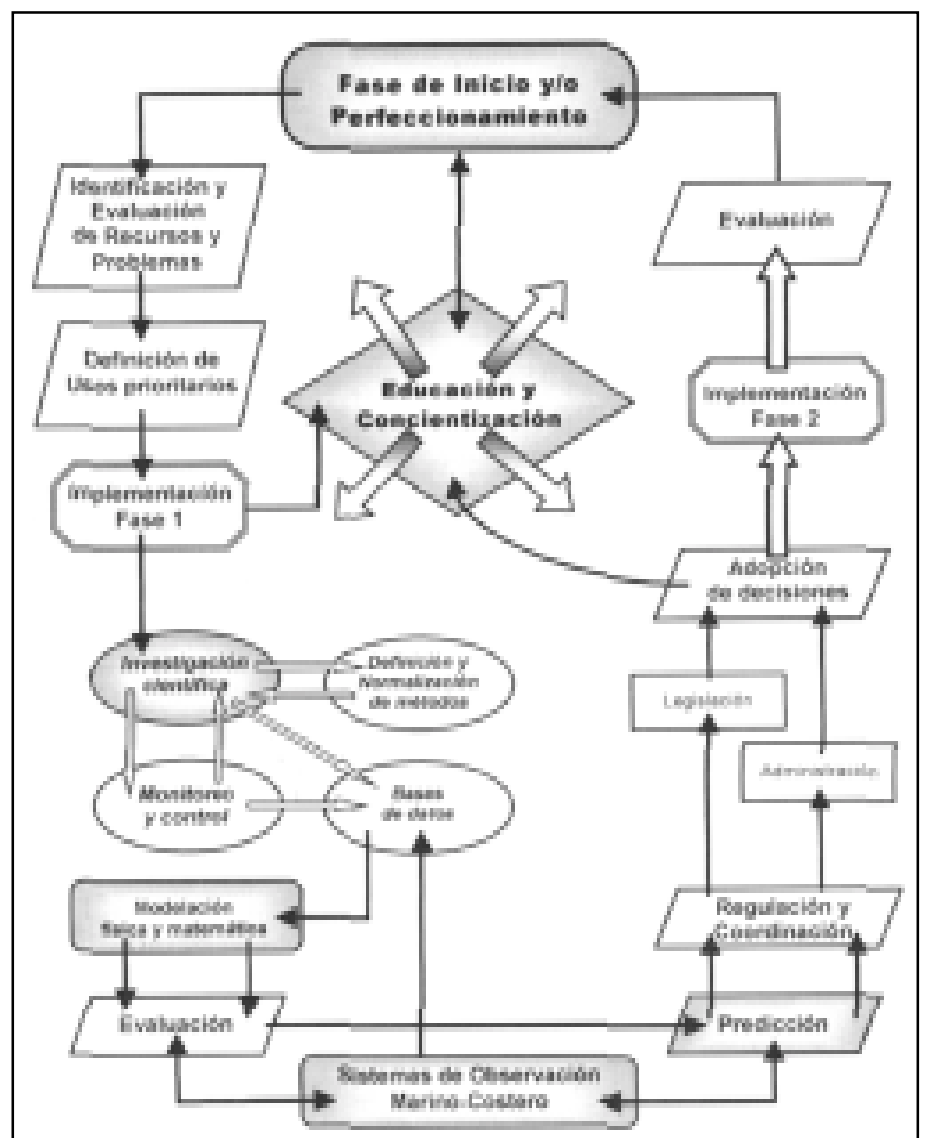


Fig. 41 Esquema general para el manejo integrado de la zona costera.

carácter político, económico o social y porque además, depende esencialmente de la calidad de otros recursos y de la sabiduría con que estos sean administrados, también da lugar a un ambiente cualitativamente óptimo. Es decir, el desarrollo del turismo se basa en el reconocimiento de la calidad, diversidad y belleza ambiental de las costas, es el recurso natural de mayor valor. Por ello, si nos atenemos a este principio, se comprenderá cuán complejo resultará el ejercicio científico, intelectual, administrativo y político para lograr preservar el funcionamiento armónico y balanceado de la naturaleza del Archipiélago Cubano, a pesar de que en no pocos casos se ha alterado como consecuencia de planeamientos y manejos inadecuados de la zona costera y la aplicación errónea para mitigar algunos problemas existentes, no obstante dista mucho de las crisis existentes en otras áreas de la región.

En temas precedentes ha sido tratada la variedad de ecosistemas marinos y costeros del Archipiélago Cubano, y si se evalúan las características, recursos y aportes de los mismos como parte integrante de la zona costera, no cabe duda de la importancia ecológica de cada uno de ellos y del rol que desempeñan en la sustentabilidad del Archipiélago, debido a que:

- Son el asiento de la casi totalidad de los recursos de la biodiversidad marina del país.
- Constituyen elementos vitales para la reproducción, cría y alimentación de las más valiosas especies comerciales.
- Aportan elementos energéticos indispensables al medio marino.
- Constituyen estructuras de defensa natural de las costas.
- Son fuentes de recursos vivos y no-vivos.
- Son áreas de alto valor para el desarrollo socio-económico del país.

Salvo algunos puntos muy bien localizados en la geografía del Archipiélago, la magnitud de los asuntos o problemas ambientales marino-costeros no alcanza categoría nacional; sin embargo son motivo de una estrecha y rigurosa atención, a la que contribuyen varios factores de forma determinante para que Cuba ocupe una posición privilegiada en este sentido: el nivel escolar de la población, el desarrollo científico alcanzado, el sistema nacional de instituciones de salud, el desarrollo de las organizaciones sociales, el desarrollo planificado de la economía y los programas de educación ambiental.

Pero Cuba es un país subdesarrollado, con urgentes necesidades económicas y sociales que resolver. De manera que el equilibrio de ello con el medio ambiente frecuentemente se encuentra sometido a fuertes presiones sectoriales. Por esto el establecimiento de un sistema de manejo integrado de zonas costeras es la única alternativa de prevención, mitigación y/o solución de los asuntos ambientales actuales. Los sistemas de instituciones científicas, sociales y de gobierno disponen de suficiente voluntad política y preparación técnica para su concepción, elaboración, planeamiento, implementación, desarrollo y evaluación con todo el rigor necesario. Sólo teniendo en cuenta estas realidades y conceptos, es posible entender y valorar adecuadamente los problemas del medio ambiente del Archipiélago Cubano.

Los términos jurídicos y organizativos que rigen los asuntos marinos y costeros en Cuba, se basaron primero en la Ley 33 del 10 de enero de 1981 «Ley de la Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales». Esta fue considerada en su tiempo, en América Latina y el Caribe, como una de las primeras normativas jurídicas de regulación de los asuntos ambientales. En 1995 se definieron las bases de un sistema jerárquico de regulaciones ambientales, se emitieron un conjunto de resoluciones ministeriales, tales como: las relativas a la Evaluación de Impacto Ambiental, la Inspección Ambiental Estatal y la aplicación del Procedimiento de Información y Consentimiento Previos a determinados productos químicos objeto de comercio

Cuadro 4. Ejemplos de problemas específicos, causas y áreas de afectaciones al medio marino y costero en el Archipiélago Cubano.

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CAUSAS	LUGARES / ÁREAS
Contaminación en Bahías	Insuficiente cobertura de tratamiento de residuos. Aumento de tráfico marítimo.	Bahías de la Habana, Cienfuegos, Cárdenas, Santiago de Cuba, Nuevitas y Matanzas
Disminución de pesquerías en lagunas costeras	Contaminación	Costa Sur en general
Disminución de pesquerías en plataforma insular	Aumento de salinidad Sobre-explotación Degradación de hábitat Crecimiento no regulado del estuero pesquero	Costa de Bahabonó Costa de Ana María Costa de Guacanayabo Archipiélago Sabana-Camagüey
Disminución de pesca de camarones	Degradación de hábitat Represamiento de ríos Contaminación	Creanada de la Broca Costa de Ana María Costa de Guacanayabo
Cambios de estructura en comunidades de peces	Sobre-pesca	Costa de Bahabonó
Erosión de playas	Construcciones costeras Deforestación Cambios climáticos	137 playas afectadas (de 336 identificadas) Ritmo de erosión 1.2 m/año
Aumento de salinidad en aguas someras	Sequías. Represamiento de ríos Construcciones costeras Cantinas sobre el mar	Lagunas costeras al Sur de Cuba: Aguas someras, Aní, pitajío Sabana-Camagüey
Mortalidad de manglares	Aumento de la salinidad Disminución de nutrientes	30% del total nacional (aproximado)
Pantos marinos degradados	Aumento de la salinidad Cambios en flujos de agua	Archipiélago Sabana-Camagüey
Blanqueamiento de corales	Aumento de la temperatura del mar (El Niño 97-98)	Playa Herradura Playa de Varadero Santiago de Cuba
Afectaciones generales a los arrecifes de coral	Cambios climáticos Contaminación Turismo náutico	3% de los arrecifes a escala nacional
Penetraciones e inundaciones de mar	Cambios climáticos Ciclones, frentes fríos, etc. Eventos meteorológicos extremos.	38 asentamientos poblacionales, incluyendo La Habana.
Ascenso de la cuña salina	Cambios climáticos. Aumento del nivel del mar. Sequías prolongadas.	Zona costera Sur Habana.
Pérdida de superficie terrestre	Elevación del nivel del mar (30-100 cm/año 2100)	Pérdida de Cayos interiores en Costas de Bahabonó, Ana María y Guacanayabo. Inundación del 60-80% de la área de la Ciénaga de Zapata. Inundación del 3.8% del área total de país.

internacional, al tiempo que se comenzaba la elaboración de proyectos sobre los desechos peligrosos, la protección de la capa de ozono, la diversidad biológica y las áreas protegidas.



Fig. 42 Bahía de Cienfuegos.

Con posterioridad se perfeccionan los postulados y regulaciones de la Ley 33, antes mencionada, y en 1997 es aprobada la Ley 81 del Medio Ambiente. Esta Ley aborda, entre otros temas, el de la política y la gestión ambiental, el comercio y el uso de los recursos energéticos. La nueva Ley de 1997 contempla la

responsabilidad de las instituciones y personas en la prevención y solución de los problemas ambientales originados por desastres, las normas relativas a la agricultura y el desarrollo sostenible del turismo, la preservación del patrimonio cultural vinculado al natural y la protección del medio ambiente en las actividades laborales.

Otras herramientas básicas de las normativas legales vinculadas al mar y las costas son: Ley de Pesca, emitida en 1996; Ley del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de 1999 y la Ley de Gestión de la Zona Costera del 2000. Estas dos últimas reflejan en su contenido los conocimientos científicos acumulados en ambas materias.

Sin dudas, un elemento importante en la atención de los asuntos relacionados con las costas y su manejo integrado lo es el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Este sistema cubre aproximadamente 22% del territorio nacional, y da cumplimiento a uno de los objetivos principales de la Estrategia Nacional para la Conservación de la Diversidad Biológica (12). El sistema es el resultado de estudios detallados sobre los valores de la biodiversidad del país. Está conformado por las áreas de mayor relevancia ecológica, social e histórico-cultural de la nación. Entre ellas se han identificado 50 sitios como áreas marino-costeras protegidas en sus diferentes categorías (parques nacionales, reservas ecológicas, etcétera) (21).

Entre las áreas de mayor significación se encuentran: Parque Nacional Punta Francés, Parque Nacional Ciénaga de Zapata, Parque Nacional Desembarco del Granma, Parque Nacional Guanahacabibes, Parque Nacional Caguanes y Paisaje Nacional Protegido Rincón de Guanabo. Todas ellas son un importante eslabón para garantizar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad cubana.

Avalado por la voluntad política y social nacional, en los casos exitosos de aplicación del sistema de manejo integrado de la zona costera, se han dado los pasos siguientes:

1. Creación de una capacidad humana y material indispensables para la sustentabilidad del sistema a largo plazo.
2. Apoyo y participación continua de los sectores económicos y gobiernos locales involucrados, de todos los actores sociales y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales de la localidad.
3. Establecimiento de sólidas bases organizativas y mecanismos de coordinación institucional.
4. Creación y fortalecimiento integral y continuo de un órgano u organismo ejecutivo de coordinación, con alcance, atribuciones y funciones bien definidas.
5. Identificación y definición de uno o varios líderes reconocidos, institucionales (colectivos) y personales (individuales), en todas las acciones y programas que se implementen.
6. Estructuración de los mecanismos e instrumentos legales, administrativos y/o jurídicos que faciliten el

ejercicio de las atribuciones del poder sobre las zonas costeras.

7. Garantía para el establecimiento y aplicación de un adecuado proceso de seguimiento y evaluación sistemática de las actividades, proyectos y programas.
8. Desarrollo y fortalecimiento de los vínculos entre las ciencias naturales, sociales y económicas.
9. Concepción y aplicación de un adecuado Plan de Educación Ambiental que abarque todos los niveles y sectores de la sociedad, como vía más efectiva para incrementar la conciencia y cultura ambiental necesaria.
10. Aseguramiento de la o las fuentes de financiamiento que garanticen la sustentabilidad del programa.

4.2 Instituciones científicas y administrativas. Objetivos y resultados

Muchos piensan que la época de los grandes descubrimientos ha culminado, debido al desarrollo espectacular que ha tenido la ciencia, particularmente en el pasado siglo. Sin embargo, los notables descubrimientos reconocidos, aún dan paso a nuevos compromisos para los hombres de ciencia, quienes están concientes de la magnitud de las incógnitas que quedan pendientes.

Solamente reflexionando acerca de la diversidad biológica marina, hace 100 años, el número de organismos que por extinción dejaban de existir en los mares era modesto, sin embargo hoy los riesgos y amenazas se hacen más críticos.

Junto a las diversas señales de alarma, no cabe dudas que, existe la voluntad de unir esfuerzos para mitigar los daños hasta hoy ocasionados, así como diseñar y aplicar estrategias que propicien el manejo efectivo de los recursos marinos, bajo el concepto de desarrollo sostenible.

El año 1998 fue el colofón, al ser declarado por las Naciones Unidas como el Año Internacional de los Océanos, bajo un lema que recorrió el mundo: ¡Salvemos los mares!

Las Naciones Unidas, más allá del acontecimiento, pretendió sensibilizar a los gobiernos y ciudadanos, acerca de los riesgos a los que actualmente están sometidos los océanos por la acción antrópica, en ocasiones irracional.

Coincidiendo en fecha, más de 1 600 científicos marinos de 65 países hicieron público un informe, cuyo título fue "Aguas turbulentas, una llamada a la acción". En este, se solicitaba a todas las autoridades públicas y privadas, a emprender acciones para evitar desastres ecológicos en los mares del planeta, con la consecuente afectación de especies y ecosistemas marinos, así como financiar y desarrollar programas de investigación y desarrollo para elevar los conocimientos asociados al mar y sus recursos.

Situación actual de los océanos del mundo

Más de la mitad de las costas del mundo están amenazadas por actividades relacionadas con el desarrollo. Al respecto pudiera integrarse y relacionarse la información siguiente:

- Aproximadamente dos tercios de la población del planeta vive en una franja de menos de 100 Km de la línea de costa.
- El 65 % de las ciudades con más de 2,5 millones de habitantes están localizadas en las costas.
- Un total de 81 estados independientes o soberanos tienen su capital en la zona costera.
- El Caribe recibió durante 1997 más de 17 millones de visitantes, incluyendo tres millones de ellos por medio de cruceros.
- Las pesquerías mundiales han alcanzado valores superiores a los 100 millones de toneladas en los últimos años.
- Más de las tres cuartas partes de la contaminación marina proviene de fuentes terrestres.

- Cada año se arrojan al océano cientos de miles de toneladas de hidrocarburos de petróleo, en particular se estima que 250 000 ton llegan al mar debido a procesos naturales, y que 2 millones 500 000 ton provienen de las actividades humanas.
- Cada año se vierten al mar 66 000 millones de m³ de desechos industriales.
- Aunque no existen cifras definitivas, se estima que varios cientos de especies foráneas se han introducido en diversos países como consecuencia del transporte marítimo.
- Aproximadamente 80% del comercio mundial se realiza por medio del transporte marítimo.
- La transportación marítima creció en casi seis veces durante los últimos 40 años (de 800 a 4 700 millones de toneladas métricas).
- La flota mercante mundial está compuesta por unos 37 000 barcos.
- El 90 % de toda la actividad volcánica del planeta ocurre en los fondos oceánicos.
- Estimaciones actualizadas indican que el aumento del nivel medio del mar será de 12 cm hacia el 2030 y de 49 cm en el 2100.

De acuerdo con esto las preocupaciones han sido centradas en mitigar los efectos y aplicar planes específicos para evitar el deterioro continuado, en los cuales las ciencias marinas son imprescindibles. Al respecto están definidos los requerimientos para que:

1. Los recursos vivos y la pesca se mantengan amparados bajo el establecimiento de cuotas, tallas y artes de pesca en correspondencia con la biomasa potencial de las poblaciones de los recursos pesqueros, en particular aquellos más vulnerables.
2. Se den soluciones a la incidencia de la degradación de la zona costera como resultado de las múltiples y conflictivas demandas provocadas por la expansión de las poblaciones en estas zonas.
3. La contaminación marina, evaluada a escala universal, con mayor afectación en las zonas costeras debilite su impacto sobre la salud humana, la seguridad del agua dulce y la alimentación.
4. Se reduzcan mínimos los efectos en el desequilibrio de la emisión y absorción de gases, pues con ello se alteran las perturbaciones a nivel climático que se suman a efectos de cambios del nivel del mar y los fenómenos que a escala natural se suscitan.
5. La explotación de los recursos oceánicos no vivos se lleven a cabo bajo planes de desarrollo debidamente consolidados, con resultados científicos bien definidos.
6. Se mantengan los estudios científicos multidisciplinarios encaminados a la exploración y explotación de los distintos ecosistemas marinos, incluyendo los de aguas profundas.

En la actualidad se definen los objetivos de investigaciones científicas de forma amplia, atendiendo a las posibilidades y capacidades que cada país posee. No obstante, hay un perfil común, bien identificado por parte de las organizaciones que desarrollan acciones en torno a las ciencias marinas, en particular, se atienden los sistemas de observación de los mares, de sus recursos, la diversidad biológica marina, los mecanismos de interacción entre océano y atmósfera, los efectos de la radiación sobre el sistema de producción biológica de los mares, los efectos y consecuentes cambios en la producción primaria por el intercambio gaseoso que ocurre entre el océano y la atmósfera e incluso la composición de esta última. El impacto de la vida sobre los sistemas que la sustentan son las grandes preocupaciones de la humanidad y el desarrollo científico, los conflictos en las tomas de decisiones inducen al enfoque de integración y ordenación en el uso y manejo de los mares y sus recursos.

Perspectivas y acciones futuras

Existe un entusiasmo y una dedicación indiscutible en la comunidad científica marina para establecer una relación definitiva entre las ciencias marinas y sociales,

para integrar la gestión efectiva de los océanos, mares y zonas costeras en beneficio de la especie humana. Al respecto pueden resumirse las acciones siguientes:

- Estudios sobre la gestión integrada del medio marino y costero dirigido al mantenimiento de la diversidad biológica.
- Desarrollo de los sistemas de cultivo y recolección sostenibles de los recursos biológicos marinos.
- Diseños de sistemas de explotación de recursos marinos de interés comercial bajo términos aceptables para el mantenimiento del medio ambiente.
- Evaluación sistemática y predicción de los eventos de riesgos para reducir impactos sobre vidas humanas y bienes materiales.
- Creación y consolidación de la capacidad científica entre todos los países con especial énfasis hacia el apoyo de los países menos desarrollados.
- Ampliar las vías de comunicación para el intercambio de los resultados científicos, incluyendo la llegada de estos (e incluso mejor participación) a los tomadores de decisiones y administradores.
- Que las ciencias marinas definan objetivos estratégicos de manera que se potencie la participación y la conciencia comunitaria en el manejo de los recursos marinos.
- Perfeccionar los sistemas de observación y análisis para la medición de cambios de la columna de agua, del fondo oceánico y de los ecosistemas marinos y costeros.
- Estimar y respaldar el valor económico de los potenciales extractivos de los recursos marinos, vigilando actual y prospectivamente sus capacidades de extracción.
- Extender los mecanismos para la aplicación y comunicación de los sistemas de pronósticos.

4.3 Ciencias marinas y educación ambiental

Aristóteles, sabio filósofo y naturalista griego (384 a 322 a.n.e.), está considerado como fundador de la Zoología y en uno de sus documentos dedicó una importante sección a los peces. Posteriormente C. Plinio Segundo, hizo un importante aporte a las ciencias naturales durante algo más de 17 siglos.

En Cuba, por supuesto, en esos tiempos no había posibilidades de incursionar en el tema y no fue hasta la etapa de los descubridores y sus acompañantes que comenzaron a nacer referencias sobre los peces de Cuba. Luego, en el bojeo realizado por Sebastián Ocampo en 1508, surgieron los relatos acerca de su navegación por el sur de Cuba y con ello las primeras descripciones de los accidentes geográficos y de especies marinas del país. En 1766, el portugués A. Parra se asentó en Cuba, comisionado por el real gabinete de Madrid y luego de formar el primer museo de la capital, escribió y publicó una obra sobre peces y crustáceos de Cuba: Diferentes especialistas extranjeros iniciaron sus contribuciones al conocimiento de los organismos marinos, se identifica entre ellos, a G. Rondelet, C. Linnaeus, F. Willughby, J. P. Bonaterre. No obstante, la contribución más integral fue la de Felipe Poey y Aloy y a partir de este, sin duda, la de los especialistas cubanos contemporáneos.

Las ciencias marinas en Cuba

Antes del proceso revolucionario, en Cuba existían algunas instituciones y graduados en Ciencias Naturales, que en las décadas del 30 y 50 siguieron los pasos iniciados por el gran naturalista F. Poey. Entre 1938-1939 la Universidad de Harvard, y la Universidad de La Habana, realizaron una expedición científica en aguas cubanas, a bordo del barco de investigaciones "Atlantis", sus objetivos fueron obtener muestras de organismos marinos para su procesamiento y estudio.

En 1948 se creó la Oficina Hidrográfica de la Marina de Guerra y en 1952 se funda el Centro de Investigaciones Pesqueras, con limitadas actividades y fondos que lo llevaron a su cierre antes de 1958. En 1957, se creó el Laboratorio Marino de la Universidad de Villanueva en La Habana.

Hasta esa fecha la oceanografía y las ciencias del mar no constituían objetivos de la política nacional, a pesar de su estrategia para el desarrollo del país como isla.

En 1959, nació la idea de crear un acuario en Cuba y junto a la misma, la necesidad de iniciar un proceso de desarrollo de las investigaciones marinas e incluso, encaminar programas educativos en torno al medio ambiente, en particular el marino.

En ese mismo año, se iniciaron los trabajos por parte de un reducido grupo de especialistas, en una antigua casa de la barriada de Miramar, que diseñaron las primeras tareas de investigaciones y puntualizaron la necesidad de estudiar y divulgar el medio marino y sus recursos, incluyendo la formación acelerada de especialistas.

El joven Estado Revolucionario creó diversas instituciones para las ciencias del mar, con el apoyo además, de los planes de colaboración con la antigua Unión Soviética que aportó importantes beneficios para la naciente oceanografía cubana.

Las acciones continuaron su consolidación, marcando pauta las mismas, a partir del 18 de Junio de 1963, en ocasión de un acto en Cárdenas para votar al agua 17 nuevos barcos pesqueros, Fidel refiere: "...somos una isla rodeada de agua por todas partes, no podemos estar de espaldas al mar, tenemos que darle el frente al mar y avanzar en el mar y crear esa conciencia en nuestros jóvenes". Más adelante refería: "...necesitamos despertar la afición por el mar, el interés por el mar, el mar tiene un gran porvenir".



Fig. 43 Barco cubano de investigaciones: "Ulyses" que ha obtenido importantes resultados científicos.

Instancias administrativas, científicas y educativas vinculadas al mar

A partir de 1959 comienza la institucionalización de las ciencias del mar en Cuba, hoy se cuenta con un grupo de instituciones que han alcanzado importantes resultados científicos, no solo en el ámbito nacional sino también internacional.

Las ciencias marinas de Cuba tienen un organismo colegiado conocido como Comité Oceanográfico Nacional que mantiene importantes vínculos con el Comité Oceanográfico Internacional de la UNESCO; este

ha logrado iniciar el proceso de integración y de actividades multidisciplinarias en el campo de las ciencias del mar.

Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana, 1970. Objetivos: Formación de especialistas y desarrollo de investigaciones en ecología, acuicultura, diversidad biológica, estructura y funcionamiento de ecosistemas marinos, genética y fisiología, ecotoxicología, impactos ambientales, biotecnología, acuicultura marina y manejo integrado de zonas costeras. Ha sido la mayor fuente de egresos de especialistas cubanos en ciencias del mar en las tres últimas décadas.

Centro de Investigaciones Pesqueras, Ministerio de la Industria Pesquera, 1952. Cierra en 1957 y reinicia sus actividades en marzo de 1959. Objetivos: Desarrollo de actividades de investigación, servicios científico-técnicos y transferencias tecnológicas sobre el manejo, cultivo y procesamiento industrial de organismos acuáticos, investigaciones y monitoreo sistemáticos sobre los recursos pesqueros y la influencia de la actividad extractiva y el ambiente, biotécnica del cultivo de especies marinas, diseño de programas sobre manejo de la salud de organismos acuáticos y atención a programas relacionados con especies amenazadas o en peligro de extinción.

Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), 1965. Objetivos: Investigaciones oceanográficas y marinas multi e inter disciplinarias; trabajos de caracterización oceanográfica y ecológica de los mares que rodean la Isla de Cuba, su plataforma insular y las zonas costeras; caracterización física, química, biológica y geológica de la plataforma insular y aguas adyacentes; ecología de áreas marinas; manejo de la zona costera; estudios y planes de recuperación de playas;

cultivo de algas marinas; contaminación marina y sus efectos sobre especies y áreas; biotecnología y microbiología marina y la obtención de bioactivos marinos para la industria.

Centro de Manejo Ambiental de Bahías y Zonas Costeras, Ministerio de Transporte, 1976. Objetivos: Realizar estudios multidisciplinarios para el diagnóstico e identificación de las causas y consecuencias de la contaminación marina en bahías

y costas, entre las que se encuentran de manera particular, la de La Habana, Santiago de Cuba y Cienfuegos, elabora planes de mitigación de la contaminación, recuperación y manejo ambiental de zonas afectadas por la contaminación, tanto desde fuentes terrestres como marinas.

Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), 1991. Objetivos: Estudios de ecología terrestre y marina, principalmente en la zona de la cayería norte, desarrollo de investigaciones científicas para profundizar en el conocimiento de los recursos y la ecología de una región en pleno desarrollo económico-social, con gran incidencia presente y futura del turismo. Contribuye al manejo y control de los recursos naturales del área conocida geográficamente como Archipiélago Sabana-Camagüey.

Grupo Empresarial Geocuba, 1995. Surge por fusión del Instituto Cubano de Hidrografía y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Cubre nacionalmente gran parte de las necesidades de investigaciones y estudios en el ambiente geográfico mediante la empresa GEOCUBA Estudios Marinos. Objetivos: Brinda servicios de investigaciones hidrográficas, oceanografía física y química, geofísica y geología marina, ecología marina, ingeniería de costas, ordenamiento de recursos naturales, trabajos subacuáticos y de impacto ambiental, proyectos hidrotécnicos, de prospección de recursos minerales, actividades turísticas, etcétera. En la franja marítima litoral, aseguramiento hidrográfico a la navegación, producción cartográfica y atención a las operaciones de la red mareográfica nacional.

Acuario Nacional de Cuba, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), 1960. Objetivos: Centro especializado en la investigación científica, educación ambiental y divulgación del medio marino, su flora, fauna y ecología, tendientes a incrementar la cultura y la educación acerca de su cuidado y la conservación del medio marino. Investigaciones en acuariología marina, sistemática de especies marinas y biodiversidad, estudios y manejo del delfín o tonina (*Tursiops truncatus*), y programas diversos en educación ambiental marina en comunidades costeras.

Otras instituciones nacionales vinculadas al mar. Además de las instituciones anteriores, otras universidades, centros de investigación científica y organismos, realizan actividades relacionadas con el estudio de asuntos y problemas marinos y costeros específicos y sus recursos, en algunos casos con carácter más local. El sistema ambiental cubano se completa con otras instituciones públicas encargadas de la gestión, información, educación ambiental, control e inspección ambiental.

Sistema Nacional para la atención al mar y sus recursos

El sistema de instituciones vinculadas a los asuntos marinos y costeros, se completa con instancias dedicadas al control, regulación, evaluación, gestión, información y educación ambiental, importantes elementos para el manejo de los asuntos ambientales en Cuba. Alcanzaron su madurez en 1994 al constituirse el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente; con el objetivo de consolidar la vocación, orientación ambiental y voluntad política del estado y gobierno de Cuba, en favor de la preservación y uso sostenible de uno de los principales recursos que posee el país: su medio ambiente en general, y el medio marino y costero en particular.

Este sistema está integrado básicamente por:

- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Ministerios de Pesca, Turismo, Agricultura, Industria Básica, Fuerzas Armadas, y otros.
- Direcciones sectoriales (ministeriales) de medio ambiente.
- Instituto de Planificación Física.
- Dirección de Medio Ambiente.
- Agencia de Medio Ambiente.
- Centro de Información, Gestión, y Educación Ambiental.
- Centro de Control e Inspección Ambiental.
- Centro Nacional de Áreas Protegidas.
- Unidades provinciales de medio ambiente.
- Centros de investigaciones científicas (de alcance nacional).
- Centros de estudios ambientales provinciales.
- Estructuras de atención a los asuntos y temas de prioridad nacional.
 - Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas.
 - Grupo Nacional de Bahías.
 - Comisión Consultiva de Pesca.

La política y decisiones del estado y del gobierno, así como la atención de los asuntos ambientales a los diferentes niveles, se ejecutan por mecanismos nacionales y locales. Entre ellos se pueden señalar: las estrategias ambientales, los programas de ciencia, innovación tecnológica y de gestión, y las comisiones nacionales especializadas. En este contexto desempeñan importantes roles la Dirección y la Agencia de Medio Ambiente.

Educación ambiental en función del mar y sus recursos

Para hablar de las ciencias marinas y de la educación ambiental, debe reflexionarse, de manera previa e imprescindible, en el concepto de zona costera "como recurso", como ya fue visto.

No se niega que la zona costera del Archipiélago Cubano, al igual que otras muchas del mundo, presenta problemas de carácter ambiental, al menos de forma «puntual», debido a las consecuencias conocidas: no haber logrado visualizar con antelación las causas y los efectos que su explotación ha provocado, pero no cabe dudas que el perfeccionamiento en materia de integración y manejo en el país, ha permitido hacer más efectiva su atención en los últimos años con acciones y resultados alcanzados.

El manejo del "recurso zona costera" lleva implícito un conjunto de posiciones que parten del esquema social, económico y político del país de que se trate, transita, por supuesto, por sus concepciones integrales y por el desarrollo científico y cultural, vistos estos desde el punto de vista comunitario, territorial y nacional.

¿De qué depende lograr la efectividad de su manejo para solucionar verdaderamente los problemas de carácter ambiental? Responder esta pregunta, aún para los especialistas en el tema, no es nada fácil, debido a los múltiples factores que intervienen en los problemas ambientales. Pero, de algún punto debe partirse, seleccionemos el más elemental, tener clara la definición de *integración*. Es decir, puntualizar que, las acciones deben estar en manos y bajo la responsabilidad de todos y cada uno de los actores sociales en sus respectivos niveles y con el compromiso de participación de los mismos a la hora de enfrentar, participar o decidir ante el problema ambiental en cuestión.

No menos importante es identificar el problema ambiental y acogerlo como verdaderamente es. Por supuesto, lo ideal y más efectivo sería "llegar a prevenirlo". Los distintos actores sociales, y por ello los respectivos sectores de la comunidad, en todas las instancias, deben tener bien definido el rol que les corresponde desempeñar, propiciar la sensibilización con el problema, solo así se podrá alcanzar a mediano o largo plazo (...mejor mediano) una adecuada respuesta o decisión por parte de los actores sociales, que en cada instancia le corresponda, esto permitiría soluciones racionales y oportunas y nuevas formas de pensar y actuar de todos los ciudadanos hacia lo que les rodea.

Resolver esta situación conlleva a diseñar, sistematizar y perfeccionar los bien llamados *programas educativos*, los cuales deben conformarse casuísticamente para cada sector, momento y tipo de problema, principalmente a nivel comunitario, solo así se contribuye al desarrollo de la llamada educación ambiental como elemento imprescindible para el manejo integrado de la zona costera.

Con lo anterior se garantiza que las decisiones relacionadas con el uso y explotación del entorno, transiten por los caminos que trazan los resultados científicos en beneficio de la sociedad, y por ello puedan resolverse directa y efectivamente los problemas ambientales "particulares" que se identifiquen en cada lugar, territorio, comunidad o país. Solo así cada actor social, en el marco de sus responsabilidades individuales como ciudadanos o funcionarios, verá más de cerca y más suyo el problema que se pretende solucionar y por supuesto, dentro de algún tiempo prevenir.

Una vez identificada la necesidad de encaminar programas educativos en el que participen todas las instancias, la estrategia a seguir debe indicar la responsabilidad individual y colectiva que a cada miembro y/o instancia le corresponde, para así obtener los resultados que se requieren y no perder tiempo ni crear gastos innecesarios.

En la actualidad se conocen y reconocen, las importantes estrategias que se han definido en el mundo desde hace más de 20 años en el tema de educación ambiental. También es fácil valorar el conjunto de acciones de buena voluntad asumidas, y con ellas los indiscutibles resultados alcanzados, pero el problema no es por donde, cómo, y cuando comenzar, porque en la práctica ya se ha hecho, sin duda, de alguna u otra forma. El problema es que al comenzar ya no se detenga más, que se mantenga una actividad coherente, bien diseñada y escalonada, que garantice la actividad en constante perfeccionamiento y que cada cierto número de escalones se puedan evaluar con exactitud los resultados alcanzados y saber si se va por el camino correcto.

Reflexiónese en los conceptos siguientes:

- En manos de todos está la responsabilidad de educar y de ser educados en torno a la problemática ambiental, sin excepción alguna.
- Ninguna entidad, organismo, empresa, sector comunitario, territorio y país, está exento, individual y colectivamente, de identificar los problemas ambientales, de buscar soluciones y cumplir con la responsabilidad de educar en torno a estos.
- La responsabilidad de educar debe estar implícita en las funciones y en los objetivos de todas las instituciones, comunidades, instancias, territorio y país.
- La responsabilidad de identificar cualquier problema ambiental, inducir su solución, vincular a esta a todos los ciudadanos y por ello realizar una labor educativa integradora, debe poseer un planeamiento y un diseño de ejecución por simple que sea.
- A nivel comunitario, territorial y/o nacional debe tenerse identificado el área encargada de dar seguimiento a esta labor, independientemente de que se insista en que todos, sin distinción, deben estar involucrados y comprometidos.
- Los resultados deben ser controlados y evaluados sistemáticamente, para saber hasta donde se ha llegado y como se debe seguir.
- La correcta caracterización del problema ambiental, su cercanía, la sensibilidad ante este y sus vías de solución, deben estar en el ámbito que corresponde, es decir, el problema a nivel de comunidad o localidad, territorio o país.

En el campo de la educación ambiental, las instituciones científicas y educativas especializadas en temáticas marinas tienen un importante reto que cumplimentar:

- Despertar el interés por conocer y dar a conocer el mar y sus recursos.
- Provocar cambios de conciencia y de actitud hacia el medio ambiente, con la instrumentación y

ejecución de programas científicos y educativos adecuados a los intereses de los diferentes actores sociales.

- Trazar pautas que consoliden la conciencia social sobre la importancia de la protección y conservación de las especies marinas y costeras, y sus ecosistemas para las futuras generaciones.
- Participar y desarrollar de forma activa investigaciones científicas y programas educativos orientados a la solución de problemas ambientales específicos.
- Desarrollar programas divulgativos para contribuir al conocimiento popular de la diversidad biológica, de manera particular la del medio marino-costero.
- Concebir programas de conservación y/o planes de medidas sustentados sobre resultados científicos debidamente obtenidos, para garantizar la supervivencia de las especies marinas, la estabilidad y equilibrio de los diferentes ecosistemas marinos y costeros.

Para complementar la labor de educación ambiental en beneficio del mar y sus recursos, cabe respetar y valorar el trabajo de las instituciones especializadas del tipo zoológico, museos, laboratorios de colecciones biológicas o centros de referencias y acuarios, no solo teniendo en cuenta el aporte científico que brindan a la sociedad, sino su rol de agente de cambio en diversos sectores (populares y especializados) y en particular, algunos de estos, en las generaciones más jóvenes y en el sistema nacional de enseñanza.

Estas instituciones sensibilizan a los ciudadanos ante los problemas ambientales que les rodea y los convierten en instituciones "únicas" capaces de trabajar masivamente en la trasmisión de los mensajes de conservación y protección de las especies y sus ecosistemas. Su rol no es solamente exhibir o poseer determinadas especies, todo lo contrario, dominan las condiciones óptimas que exigen las mismas, en cuanto a tenencia y manejo y el desarrollo de estudios de conservación *in situ* y *ex situ*. En la actualidad se reconoce internacionalmente el aporte científico de las mismas para potenciar la conservación de las especies y de sus ecosistemas, contribuyen de manera efectiva al conocimiento de la diversidad biológica a nivel popular.

La cultura del pueblo de Cuba ha iniciado sus pasos vertiginosos incluyendo las concepciones de la dimensión ambiental y la compatibilidad del ambiente y el hombre. La educación es la poderosa herramienta que Cuba tiene en sus manos, es el principal reto que debe acometer en este nuevo milenio.



Fig. 44 Actividad educativa en comunidades costeras.