

El agua marina

Adolfo Gracia-Gasca, Raúl Gío-Argáez y Adriana Gaytán Caballero

La contaminación y la extracción irracional de numerosos recursos, han alterado el equilibrio del ecosistema marino. Por esto, resulta impostergable la intervención de científicos con un enfoque multidisciplinario y sistemático, para la recuperación de este complejo medio.

El hombre y su interés por el mar

Durante muchos años la especie humana se ha interesado por el ambiente que le rodea. Ello se ha visto reflejado en las obras de la literatura antigua, donde se ponen de manifiesto las creencias y sentimientos religiosos respecto del entorno. En la mitología griega se narran las historias que tratan de la vida y hazañas de los “seres superiores” de la antigüedad, pero no todo lo que se refiere en estas fábulas es ficción; algunas de ellas descansan sobre fundamentos históricos y hechos de la naturaleza.

De los grandes dioses, el más antiguo era el Cielo o *Coelus*, que desposó a la Tierra o *Titea*. De este matrimonio nacieron hijos; entre los más célebres estuvieron Saturno y Océano. El padre persiguió cruelmente a sus hijos, pues recelaba de su poder, genio y audacia. Por ello, Saturno lo atacó y le redujo a la condición de siervo, y ocupó en su lugar el trono del mundo. Finalmente, Saturno le cortó los genitales a su padre lanzándolos al mar; en ese momento se produjo una espuma que se transformó en Venus (la diosa del amor), quien se transportó en una valva de molusco hasta llegar a la playa (Figura 1a). Neptuno (Figura 1b), hijo de Saturno y Cibele, fue conocido como dios del mar y se casó con su prima Anfítrite, hija de Océano. Todos los pueblos griegos rindieron culto a Neptuno; sentían por él un temor profundo, y le levantaron innumerables templos, principalmente en las regiones marítimas. Era invocado por los navegantes y le ofrecían sacrificios.

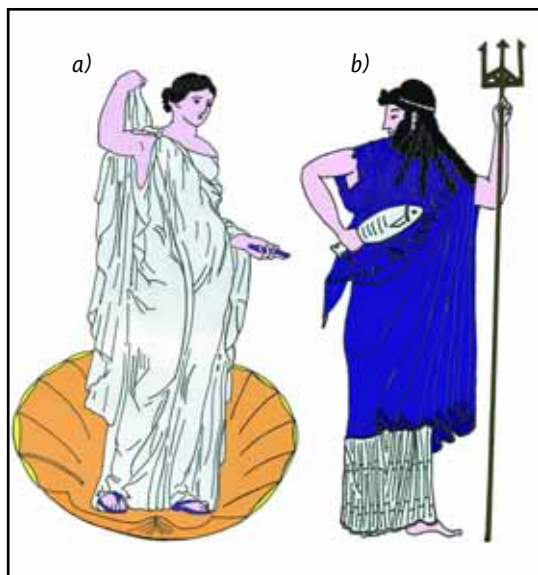


Figura 1. a) Venus, b) Neptuno

Representado como un anciano, Neptuno refleja su majestuosidad cubierto de ropajes de color azul, el color del mar. No se habla de Neptuno como único regidor del mar; su hijo Tritón tenía el poder de encrespar las olas o calmarlas. Además, de entre los dioses secundarios se encontraban otros dioses marinos como Océano y Tetis (diosa de las aguas), quienes engendraron a sus hijos los ríos y las oceánidas, y Orco, quien tuvo algunos monstruos fabulosos y principalmente a las gorgonas (Estenio, Euriale y Medusa).

Características generales del agua marina

No es de sorprender el interés, respeto y temor hacia el mar que los griegos demuestran en sus escritos. Siendo el humano un organismo terrestre, primero ha explorado los ambientes continentales, por su accesibilidad, pero también sabe de la inmensidad de un ambiente de menor acceso: el vasto ecosistema marino, que ocupa con sus aguas 1 370 millones de kilómetros cúbicos y cubre más de la mitad (71 por ciento) de la superficie terrestre. Este *Mare nostrum*, como era llamado en la

mitología el Mar Mediterráneo (por ser la única región marítima que conocían), presenta en todo el planeta características y procesos físico-químicos únicos.

Los descriptores básicos de las masas de agua son la salinidad, la temperatura, la presión y la densidad. Todos sabemos que el carácter esencial del agua marina es ser salada, debido a la presencia del compuesto químico cloruro de sodio (NaCl). Sin embargo, el agua de mar contiene en disolución una parte de todos los elementos conocidos (Cuadro 1).

La *salinidad* (proporción de sales disueltas por volumen de agua en relación con su conductividad) es la medida utilizada para el estudio del agua marina. El mar tiene una gran diferencia con otros tipos de cuerpos acuáticos. Por ejemplo, el agua de un río tiene generalmente un nivel de cero unidades prácticas de salinidad (UPS), mientras que el agua en mar abierto tiene una salinidad entre 33 y 37 UPS. Sin embargo, existen algunas diferencias relacionadas con la distancia a la costa y con la profundidad, así como grandes excepciones, como en el Mar Rojo, con salinidades mayores a las 40 unidades prácticas de salinidad.

La *temperatura* en el océano varía entre -2 y 30 grados centígrados. Estas cifras pueden modificarse, en aguas superficiales y someras, con las estaciones del año, debido a la variación en la cantidad de radiación incidente, y con la latitud (por ejemplo, en el Ecuador la incidencia solar es mayor).

En general, se pueden distinguir tres estratos verticales de temperatura: el *superficial isotérmico*, o capa de mezcla, en que el cambio es mínimo con el incremento en la profundidad; la *termoclina*, donde la temperatura cambia rápidamente a una profundidad relativamente corta, y un *estrato inferior* donde la temperatura varía de 4 a -1 grado centígrado. La excepción son las ventilas hidrotermales, con 404 grados.

La *presión hidrostática* tiene menor influencia, comparada con la salinidad y temperatura, en el reconocimiento de masas de agua. Sin embargo, su cambio a medida que incrementa la profundidad es muy importante. Sabemos que a nivel de mar se tiene una presión de una atmósfera, pero con cada 10 metros de profundidad, la presión aumenta una atmósfera. Así, por ejemplo, a los 3 mil metros de profundidad se ejerce una presión de 300 atmósferas (300 millones de dinas por centímetro cuadrado; Figura 2). Esto tiene grandes repercusiones en los organismos del mar profundo, y afecta las reacciones químicas favorecidas por enzimas, es decir, la catálisis enzimática.

La *densidad*, que es la masa que tiene una unidad de volumen, depende de la salinidad, la temperatura y la presión, pero

Cuadro 1. Composición química del agua marina en orden de abundancia (Libes, 1992).

Categoría	Ejemplos	Intervalo de concentración
Iones mayores (99.8 por ciento de la masa de solutos disueltos en el agua marina y cuya proporción es constante en comparación con otros cuyas cantidades varían de acuerdo con las estaciones del año, o con la actividad biológica, como los fosfatos y los nitratos)	Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+	milimolar (mM)
Iones menores	HCO_3^- , Br^- , Sr_2^- , F^-	micromolar (μM)
Gases	N_2 , O_2 , Ar, CO_2 , N_2O , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, H_2S , H_2 , CH_4	de nano a milimolar (nM a mM)
Nutrientes	NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , H_4SiO_4	micromolar (μM)
Metales traza	Ni, Li, Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Co, U, Hg	menos de 0.05 micromolar (μM)
Compuestos orgánicos disueltos*	aminoácidos, ácidos húmicos	nanogramos por litro (ng/L) a miligramos por litro (mg/L)
Coloides*	espuma, flóculos	menos de miligramos por litro (mg/L)
Materia particulada*	arcilla, tejido muerto, organismos marinos, heces	microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$) a miligramos por litro (mg/L)

* Componentes que no se utilizan para medir la salinidad.

varía muy poco (por ejemplo, la densidad del agua pura se encuentra entre 1 000 y 1 032). La importancia de esta propiedad se encuentra en la flotabilidad de los cuerpos, tanto para organismos marinos como para barcos. Por ejemplo, en diferentes regiones del mar la salinidad o temperatura puede variar drásticamente, y por tanto la densidad cambia. Esto puede provocar que la flotabilidad de un barco disminuya, su calado aumente y se hunda más de lo normal, o bien que tenga mayor flotabilidad.

Otra de las características que llaman nuestra atención es el *color* del mar (Figura 2). En general, los niveles de luz decrecen con la profundidad por la *absorción* (transformación de energía en calor), la *atenuación* (la reducción de intensidad que presenta la luz al pasar a través del agua) y la *dispersión* (por el choque con partículas en suspensión).

Pero..., ¿por qué se ve de color azul el agua? La razón es que el agua marina es más transparente a los intervalos azul y verde del espectro de luz visible (450-550 nanómetros). En particular, la mayor penetración de la luz azul es debida a su dispersión al chocar con partículas suspendidas que permiten reflejar este color.

Se pueden encontrar destellos de luz causados por ciertos organismos a diferentes profundidades, incluso en los abismos. Se ha comprobado que esta *bioluminiscencia* es importante como señal reproductiva, como mecanismo de defensa o como distractor para huir de un posible depredador.

La relación cielo, tierra y océano

Ahora que conocemos acerca de las principales características físicoquímicas del agua marina, es importante saber que no se trata de un compartimento cerrado. Así como en la mitología griega el Océano fue hijo del Cielo y la Tierra, podemos observar que en realidad los tres se encuentran en constante interacción.

La tierra proporciona el recipiente donde descansa y se mueve el agua (corteza continental y oceánica), con su diversa topografía (márgenes continentales, cordilleras, fosas, montes submarinos, *guyots* o mesetas submarinas, cadenas asísmicas, planicies abisales) y a diferentes profundidades, desde cero en la zona litoral hasta casi 11 kilómetros de profundidad en la zona más profunda, conocida como la Trinchera de las Marianas, en el Océano Pacífico oriental.

Asimismo, por su origen existen cuatro tipos de sedimentos en el fondo marino: los *terrestres*, que provienen de los continentes por erosión y transporte, o del piso oceánico a partir de volcanes; los *biogénicos*, a partir de organismos que con sus esqueletos pueden for-

mar grandes depósitos de sedimento y que son conocidos como *oozes* calcáreos (por su constitución de carbonato de calcio, por ejemplo de foraminíferos) o silíceos (por su constitución de silicatos, por ejemplo de diatomeas); los *autigénicos*, que como su nombre lo indica son aquellos sedimentos que se generan en el sitio mismo (como costras de manganeso y nódulos polimetálicos); y finalmente los *cosmológicos*, que provienen del espacio exterior y se depositan lentamente debido al tamaño de sus partículas. Los cuatro tipos de sedimento dependen en gran medida de la velocidad de las

corrientes del fondo, la profundidad, la proximidad del continente, las características geológicas, los tipos de materiales en suspensión de las capas superiores y las características mismas de las poblaciones de seres vivos presentes.

Por su parte, el cielo proporciona la interacción entre océano y atmósfera. Algunos tipos de corrientes oceánicas, ondas y olas representan esta relación; además, la radiación solar provoca un intercambio de energía que causa diferencias de presión y movimientos de los vientos, lo cual influye en las condiciones del clima y del tiempo, regulando la cantidad de gases atmosféricos y de vapor de agua.

Estas fuerzas llegan a generar una gran producción biológica, debida a los movimientos ascendentes de aguas profundas, que aportan nutrientes para los organismos productores primarios y sostienen el mayor porcentaje de pesquerías alrededor del mundo. Sin embargo, estas fuerzas también causan catástrofes como tormentas con vientos de gran velocidad (200 kilómetros por hora) que pueden destruir embarcaciones en unos segundos o deshacer viviendas a los alrededores de la costa.

Hay que mencionar también la interacción de la Tierra con su satélite la Luna, que genera movimientos como las mareas, además de otro tipo de corrientes (sin fricción o *geostroficas*), ondas, olas y surgencias (topográficas) que se forman por la fisiografía de la Tierra y su propio movimiento: tal es el caso de las olas gigantes o *tsunamis*, que se generan por terremotos y provocan un acarreo de masa y energía en todas direcciones.

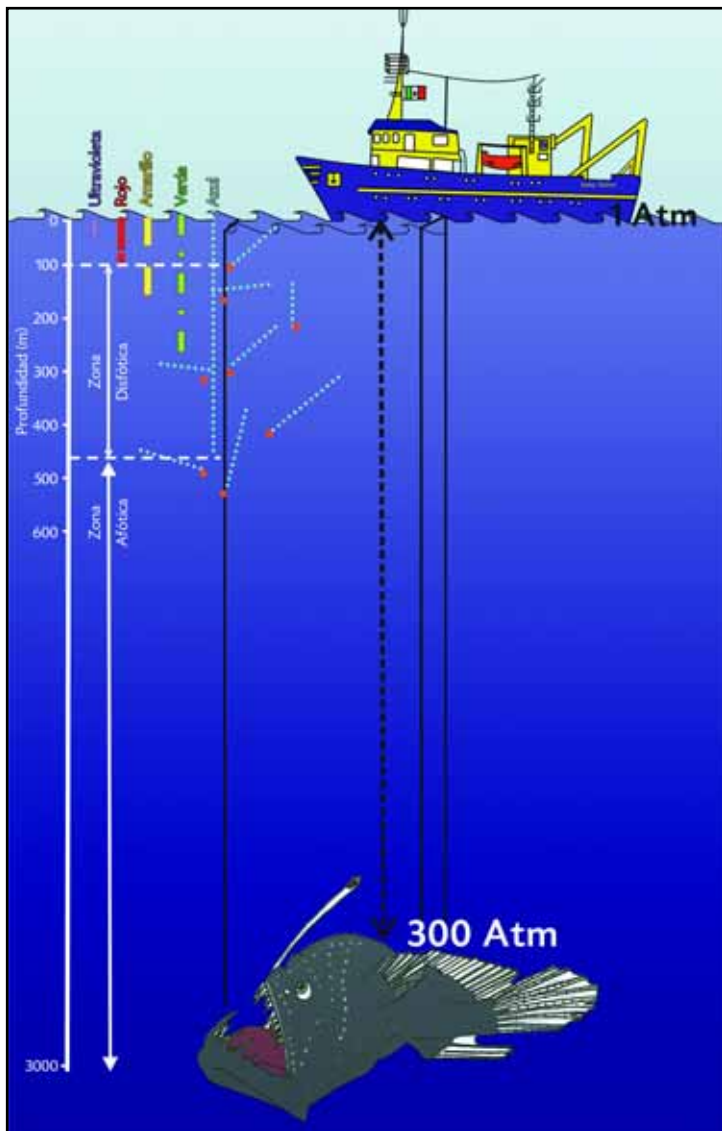


Figura 2. Diferencias de luz y presión mientras aumenta la profundidad.

El mar: fuente de vida

La teoría más aceptada acerca del origen de la vida es que el mar, junto con su interacción con la tierra y la atmósfera, contó con las características que iniciaron las primeras formas vivas en el planeta. Por ello, no es de sorprender que en este ambiente se encuentren representados todos los taxones (niveles de clasificación de los organismos) conocidos, desde una *arquea* (constituida por una sola célula) que forma parte de un tapete microbiano en el

fondo del mar (por ejemplo *Methanococcus jannaschii*), hasta una gran ballena azul (*Balaenoptera musculus*), que recorre grandes distancias por el océano.

Un ecosistema, entendido como la entidad formada por elementos bióticos e inorgánicos que interactúan entre sí, se divide a su vez en subsistemas. A grandes rasgos, se pueden hacer dos grandes divisiones del medio marino: el ecosistema *pelágico* o alejado de la costa y el ecosistema *béntico* o que pertenece al fondo del mar.

Ya que hemos analizado las principales características físico-químicas del ambiente en que viven los organismos, hablemos de las comunidades, que están formadas por especies que se presentan en conjunto en el espacio y en el tiempo.

Como parte del ecosistema pelágico se encuentra la comunidad del *plancton*, que se caracteriza por estar compuesta de organismos con un movimiento mayormente involuntario que sigue el ritmo alterno de los días y las noches (aunque también se han registrado migraciones verticales, por ejemplo las que realiza el quetognato *Sagitta hispida*, Figura 3).

En el plancton encontramos gran variedad de formas, y existen dos divisiones generales que corresponden al *fitoplancton*, como productores primarios, y el *zooplancton*, como consumidores primarios. Entre ellos hay quienes pasan toda su vida formando parte del plancton (*holoplancton*, Figura 3a), y otros que se encuentran como parte del plancton durante una

parte de su vida, pero que más adelante formarán parte del *necton*, es decir, organismos capaces de desplazarse o *bentos* (*meroplancton*, Figura 3b-e).

El *necton*, por el contrario, se caracteriza por un movimiento voluntario a lo largo y ancho de la columna de agua. Así, las adaptaciones de los organismos a este medio son similares, aunque con diseños propios. Como parte de esta comunidad encontramos organismos ágiles e hidrodinámicos como los delfines (Figura 4a) y el atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*), o los elegantes y rápidos tiburones (como el tiburón blanco *Carcharodon carcharias*). Muchas de las especies que constituyen el necton se explotan comercialmente en su etapa adulta.

La comunidad del *bentos* ocupa los fondos marinos. Esto abarca tanto el fondo, desde la zona litoral hasta las grandes profundidades, como a los organismos asociados a él, ya sea para fijarse (Figura 4d), excavar madrigueras (Figura 4e), trasladarse sobre la superficie (Figura 4b) o nadar en sus proximidades (Figura 4c), y que dependen de él para conseguir su alimento.

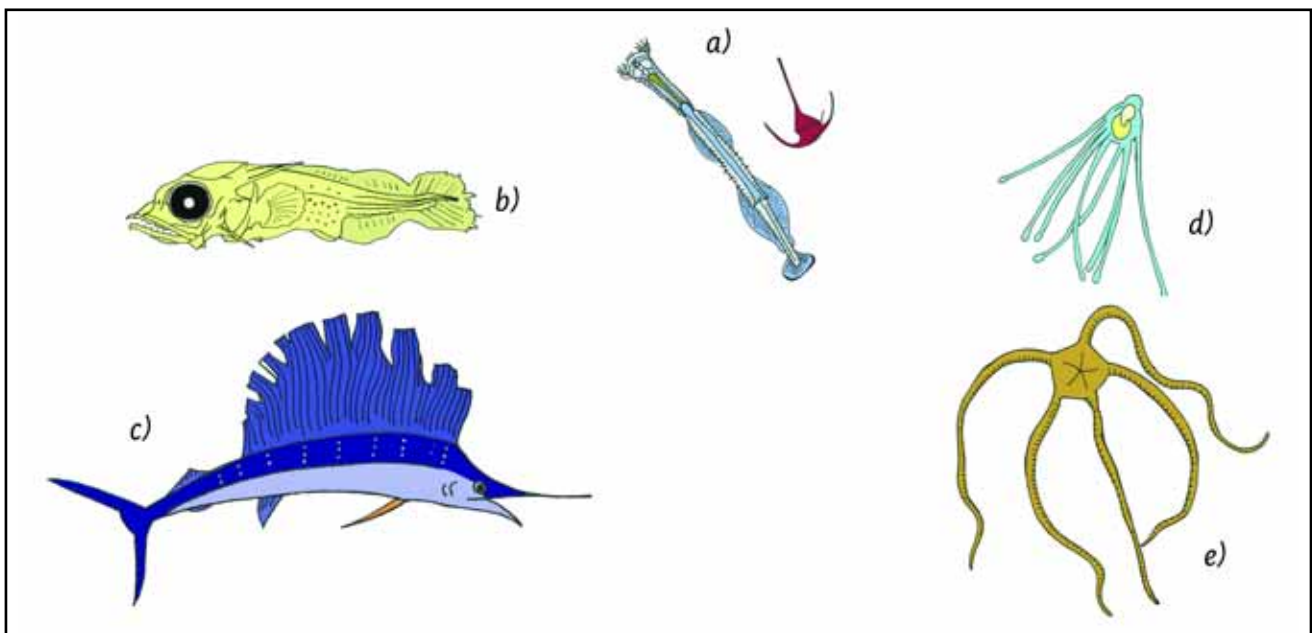


Figura 3. Organismos del holoplancton: a) quetognato *Sagitta hispida*, b) dinoflagelado *Ceratium tripos*. Organismos del meroplancton: pez vela *Istiophorus platypterus*, c) larva y d) adulto; y ofiuoideo *Ophioderma cinereum*, e) larva y f) adulto.

La mitología y el interés por el conocimiento de los organismos que viven en estos sitios nos son la única razón por la que el ser humano se ha interesado en estas comunidades, ya que por su fácil acceso, tanto los organismos como el medio en el que se encuentran se ha visto afectado por el desarrollo producido por el hombre debido a la contaminación y extracción de recursos.

Del mar profundo se sabe menos que de las comunidades de aguas someras, ya que para llegar a él necesitamos equipo especializado: barcos, cabos (cuerdas marinas) de más de 3 mil metros, o sumergibles que puedan soportar presiones de hasta 300 atmósferas. Sin embargo, en los últimos años se ha promovido la investigación de este medio, tocando tópicos desde su riqueza biológica, para saber qué especies viven ahí, hasta el reconocimiento de sus interacciones o de la sucesión de comunidades.

En particular, la exploración de este ambiente ha descubierto organismos con gran similitud a aquellos que se consideraban extintos, por ejemplo el tiburón *Hexanchus griseus* (triásico-reciente) y la langosta poliquélida del

género *Willemoesia*, que vive a 3 mil metros de profundidad y presenta una gran semejanza con los fósiles de este grupo, los cuales se reconocieron en ambientes de zonas someras del triásico y jurásico. Debido a casos parecidos, se ha sugerido que el mar profundo es un reservorio de diversidad biológica.

No obstante, también se ha propuesto que la fauna de mar profundo se conforma por organismos que sobrevivieron de las eras paleozoica-mesozoica y que coexisten con inmigraciones recientes de organismos de zonas poco profundas. Como ejemplos tenemos al isópodo gigante *Bathynomus giganteus* (mioceno-reciente), o el pez *Acanthonus armatus* (eoceno-reciente).

En relación con los estudios sobre las interacciones y sucesiones, se ha asentado un gran interés en la comunidad de las ventilas hidrotermales, reconocidas por primera vez hace apenas 30 años. Las ventilas hidrotermales (Figura 5) tienen su origen en las cercanías de las cordilleras mesoceánicas, donde ocurre la expansión del piso oceánico a partir de la lava que emerge del interior de la Tierra y que se agrieta al momento de enfriarse, formando una nueva placa. El agua de mar penetra en las fisuras, que pueden tener kilómetros de profundidad, y en este sitio se calienta al acercarse a la capa de magma, se expande y sube rápidamente, cargada de minerales lixiviados (fundidos) de las rocas que la rodean.

Cuando esta agua, a temperaturas de hasta 404 grados centígrados, tiene contacto con el agua del fondo marino, a apenas

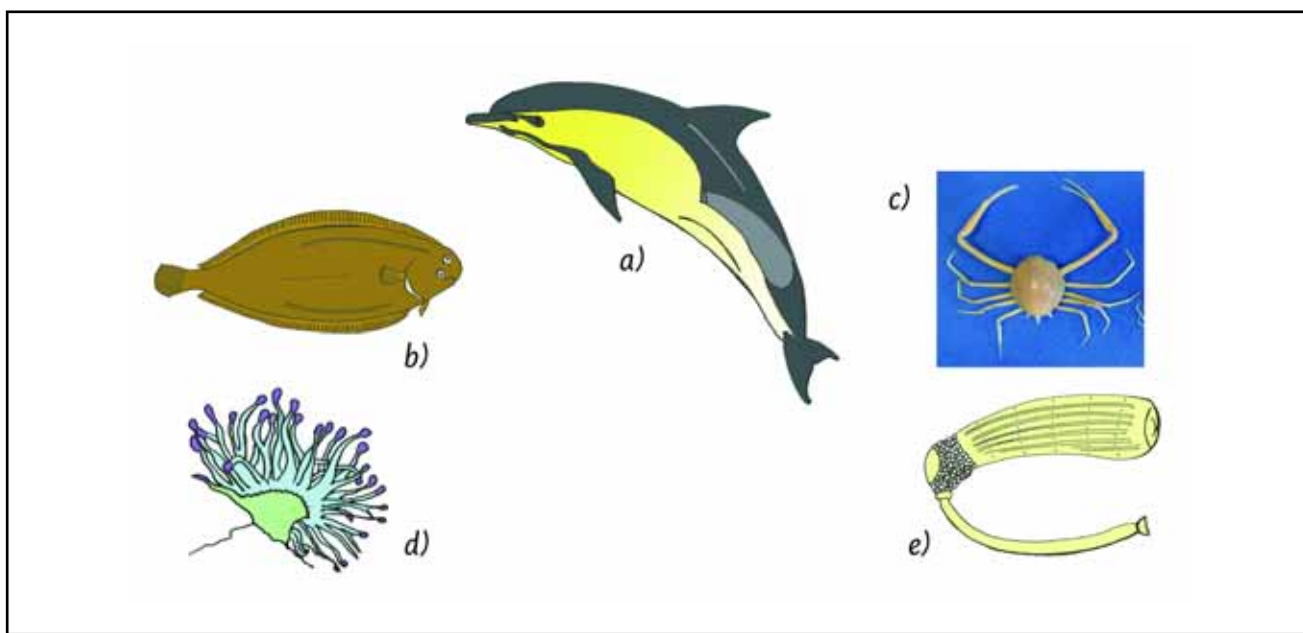


Figura 4. Un organismo del necton: a) *Delphinus delphis*. Organismos del bentos: b) cangrejo *Ilicantha liodactylus*, c) *Solea vulgaris*, d) anémona *Condylactis gigantea*, y e) sipuncúlido *Aspidosiphon exiguus*.

4 grados, el sulfuro de hierro se precipita, dando su color a las fumarolas negras. Así, en este peculiar hábitat donde no llegan los rayos de luz se encuentran organismos productores primarios quimiosintéticos (bacterias de vida libre o en simbiosis, que obtienen su energía a partir de reacciones químicas, y no de la fotosíntesis). Estos organismos oxidan sulfuros polimetálicos directamente de las fumarolas y con ello obtienen la energía para transformar el carbono mineral (CO₂) en carbono orgánico (tal como ocurre en las infiltraciones de azufre y metano).

La diversidad en formas incluye anémonas (como *Actinostola callosi*), mejillones (como *Bathymodiolus thermophilus*) y almejas gigantes (*Calyptogena magnifica*), cangrejos (por ejemplo *Cyanograea predator*), langostillas (como *Munidopsis subquamosa*), camarones (como *Alvinocaris lusca*) y peces (*Thermarces cerbeus*) con coloraciones pálidas, así como esponjas en forma de hongos (*Caulophacus cyanae*), así como gusanos de tubo (*Riftia pachyptila*) que carecen de sistema digestivo y en su lugar presentan un órgano llamado *trofosoma* que alberga bacterias simbióticas que abastecen los requerimientos metabólicos de su huésped.

Así, podemos apreciar que en estas zonas existen diferentes tipos de interacciones entre organismos. Algunas nos permiten entender la distribución de la energía en el ecosistema mediante la alimentación, es decir, las *redes tróficas* en las que los organismos marinos pueden ser clasificados como productores,

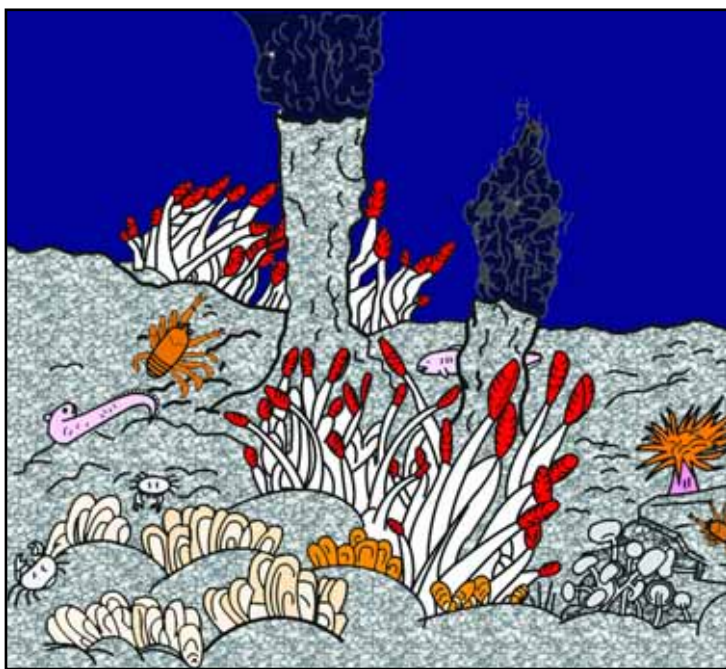


Figura 5. Comunidad de ventilas hidrotermales.

consumidores y desintegradores, según su papel. Ésta es la forma más sencilla en la que se puede percibir una conexión general que existe en todo el océano, donde la diversidad biológica, como se ha visto, está asociada con la complejidad del hábitat, las condiciones físico-químicas del lugar y con sus mismas interacciones.

Importancia del agua marina

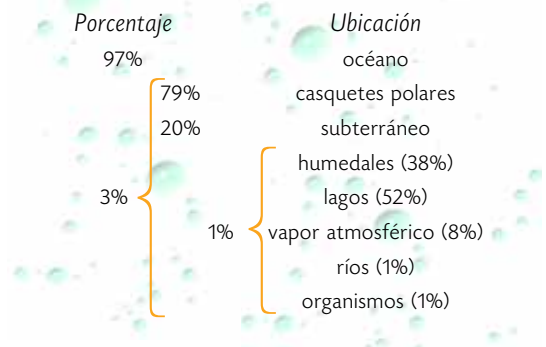
Por su cantidad, el agua marina es por sí sola de gran importancia. Representa el 97 por ciento del agua existente en el planeta, y por ello constituye la mayor fuente de recursos naturales, además de ser un medio de transporte utilizado por el ser humano desde sus orígenes.

En general, los grandes grupos de recursos que el hombre ha extraído del ecosistema marino son los energéticos (petróleo y gas), los minerales del fondo (como arenas negras o placeres, gravas diamantíferas, nódulos polimetálicos, diatomita, carbonatos, fango de globigerinas), disueltos, compuestos químicos y la energía de algunos fenómenos físicos, así como la de los seres vivos.

De los elementos químicos disueltos en el agua marina, sólo se explotan el cloruro de sodio o sal común, el magnesio, el bromo (utilizado como antidetonante en la gasolina) y el potasio. México cuenta con la salinera más grande del mundo ubicada en Guerrero Negro, Baja California Sur. La exportadora de sal, aprovechando los salitres del lugar, mantiene los estanques llenos con agua de mar, la cual se evapora bajo el sol del desierto, dejando expuesta la sal. Además de producir, también almacena y exporta sal. Según el anuario estadístico de los puertos de México, en 2003 se exportaron más de cinco millones de toneladas de sal.

Entre los fenómenos físicos marinos que son utilizados como recursos, se encuentran las mareas como productoras de energía. Tal es

Cuadro 2. Porcentajes del total de agua del planeta en sus diferentes ubicaciones



el caso de los antiguos molinos de marea para moler trigo o fabricar hielo, y de las centrales mareomotrices que producen energía eléctrica a partir de la energía de la marea.

La extracción de organismos de las aguas marinas se ha realizado a través de la historia del hombre y para diferentes propósitos (ornamental, farmacológico, construcción, alimento). Los ejemplos son cuantiosos: uno que ha perdurado en nuestro país es la extracción del caracol púrpura (*Plicopurpura pansa*), utilizado desde tiempo inmemorial para teñir productos textiles de color púrpuro. Otro tipo de gasterópodos que se han estudiado para su posible explotación en aplicaciones farmacológicas (al igual que algunos otros organismos como esponjas, corales, algas y tiburones) son los del género *Conos*, que se caracterizan por sus potentes toxinas.

Por la necesidad de alimentarse y por la riqueza en proteínas, compuestos energéticos y vitaminas, el ser humano ha desarrollado diferentes técnicas, investigaciones oceanográficas y pesqueras, así como infraestructura para obtener diversos organismos marinos. Entre las pesquerías más importantes se encuentra la del atún (por ejemplo *Thunnus albacares*, Figura 6a), la anchoveta (*Engraulis mordax*, Figura 6b) y anchoas (como *Anchoa heller* o *A. ischana*), sardinas (*Sardina* sp., *Sardinops* sp. y *Sardinilla* sp.), camarones (como *Farfantepenaeus aztecus*,

Figura 6c), langostas (como *Panulirus japonicus* y *P. argus*), jaibas (*Callinectes sapidus*, Figura 6d), pulpo (*Octopus vulgaris*, *O. maya*, Figura 6e), calamar (como *Loligo peali*, Figura 6f), ostras-ostión (por ejemplo *Ostrea mexicana*, *Crassostrea virginica*), abulón (como *Haliotis cracherodii*), bivalvos (como mejillones *Mytilus edulis*, Figura 6g); almejas (como *Megapitaria aurantiaca*, *Argopecten circularis*), gasterópodos (como *Pleuroploca gigantea*, Figura 6h) y tiburones (por ejemplo *Rhizoprionodon longurio*, Figura 6i).

Los países que cuentan con economías fuertes han puesto gran interés y dinero en la investigación y equipo para recursos pesqueros masivos en las zonas costeras y en aguas oceánicas. En contraste, en los países en desarrollo predominan las actividades pesqueras de tipo artesanal, basadas en una gran diversidad de especies pero con dimensiones de captura limitada.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 2003 se registró en el Atlántico una pesca de un millón 758 mil 854 toneladas, de las cuales 245 mil pertenecen a nuestro país, mientras que para la zona del Pacífico se dio a conocer una captura total de un millón 869 mil 181 toneladas, con un millón 120 mil 303 pertenecientes a México.

En los últimos años, más del 80 por ciento de la captura total mundial se obtiene en aguas poco profundas sobre la plataforma continental, mientras que poco más del 10 por ciento proviene del mar abierto, a mayor profundidad. Sin embargo, poco a poco se ha desarrollado una tecnología especializada para la captura en este tipo de ambientes.

Ejemplo de ello es el cangrejo rojo (*Chaceon quinquidens*), que llega a alcanzar 18 centímetros de ancho de caparazón, pero que soportaría una tasa baja de explotación. Gracia y Vázquez-Bader (1999) han descrito la presencia de camarón en mar profundo como capturas incidentales; en particular, los estudios en la zona económica exclusiva en el Golfo de México son aislados. Las colecciones iniciadas en 1997 han sido un primer paso para el conocimiento de la diversidad biológica en el mar profundo (Escobar y colaboradores, 1999). En un futuro, quizá sea posible implementar una pesca sustentable.

El incremento del esfuerzo de pesca a nivel global con métodos tradicionales ha mostrado que la gran riqueza marina tiene un límite, y que los mares no son una fuente inagotable de recursos. No obstante, la importancia del ecosistema marino como gran reservorio de mucha de la riqueza biológica del planeta recupera actualidad desde la perspectiva de la utilización de la biotecnología marina, que permite vislumbrar una potenciación en el uso de los vastos recursos marinos para la pro-

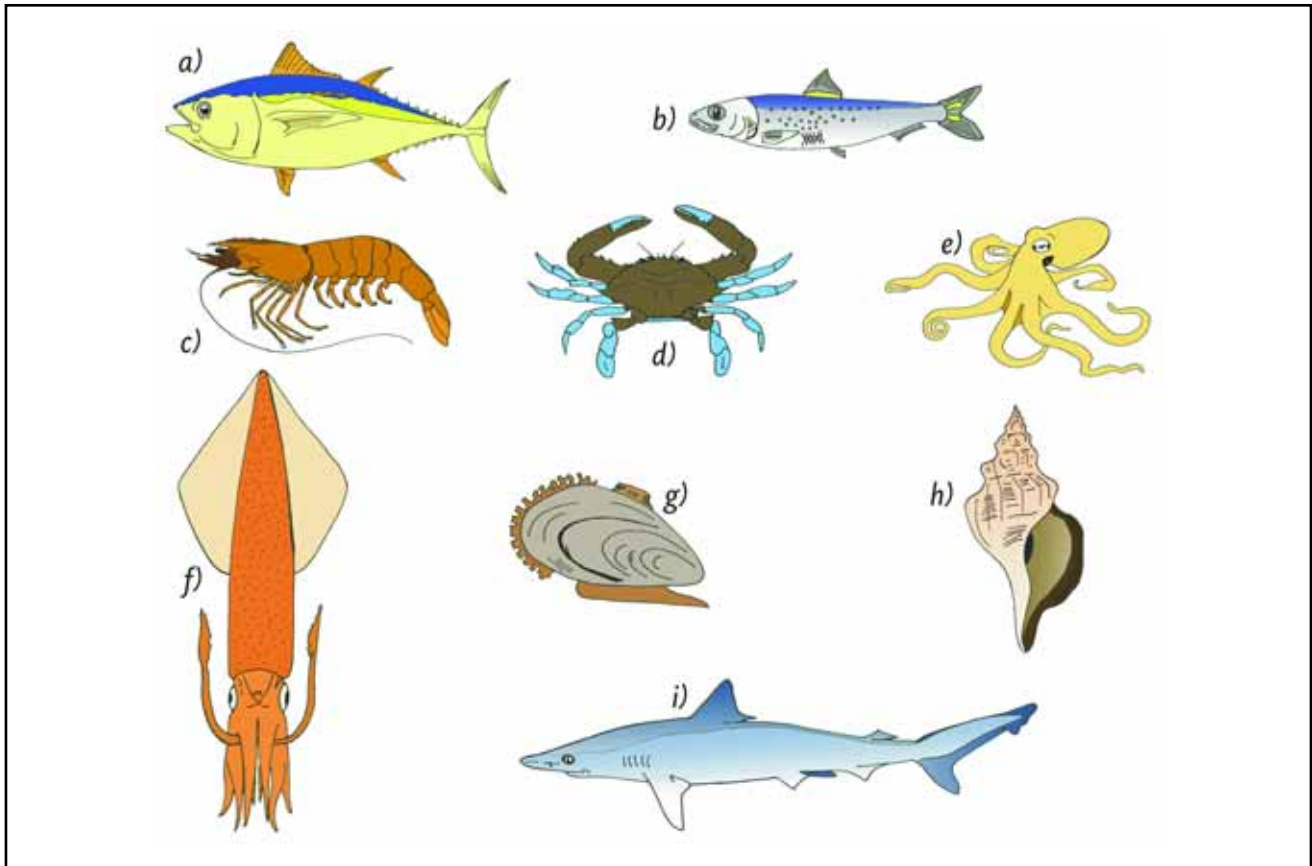


Figura 6. Ejemplos de pesquerías.

ducción de alimentos, fármacos, energía y otros bienes necesarios para la sociedad (Gracia, 2001).

La purificación del agua marina

La escasez de agua para consumo y uso humano ha despertado el interés de los investigadores hacia el gran reservorio marino. Hasta la fecha los métodos desarrollados para obtener agua dulce a partir de agua marina no son costeables, ya que requieren de grandes cantidades de energía para llevarse a cabo. Además, no se obtiene agua dulce en cantidades suficientes para abastecer zonas con falta de ella. En las más de mil 500 plantas desalinizadoras que funcionan alrededor del planeta se producen cerca de 13.3 mil millones de litros de agua dulce al día.

El método de desalinización más conocido es la destilación o evaporación. En los últimos años se ha desarrollado un método más eficiente y menos costoso: la desalinización por medio de membranas sintéticas semipermeables (de fibras de poliamida y hojas de acetato de celulosa) que se basa en la reversión del

fenómeno de la ósmosis (ósmosis inversa) a partir de la aplicación de presión. La membrana se coloca entre un volumen de agua dulce y agua marina, y esta última es altamente presurizada, lo que provoca el paso de las moléculas de agua a través de la membrana hacia el lado de agua dulce. La membrana impide el paso de la sal u otras impurezas.

Impacto antropogénico y nuevas perspectivas en las aguas marinas

La relación tan estrecha entre el ser humano y el mar no siempre tiene consecuencias positivas (por ejemplo beneficios por la obtención de recursos); muchas veces la actividad humana deja su rastro, afectando el ecosistema. Los principales impactos humanos en aguas poco profundas son la contaminación

por basura y derrames de energéticos, la extracción de compuestos químicos, minerales y arena, el cambio en el flujo de agua subterránea, la recreación y turismo, la limpieza de playas (que compactan la arena y afectan a los organismos del suelo marino) y la sobrepesca y la perturbación obtenida de esta práctica.

Se ha estimado que en el mar profundo, al ser un ambiente homogéneo, las perturbaciones físicas generadas por los dragados para la extracción de energéticos, de nódulos polimetalicos o de organismos tendrían gran impacto en las poblaciones benthicas.

A partir de este análisis y de todo lo aquí presentado, queda clara la necesidad de nuevos enfoques para la ordenación y desarrollo en el medio marino, en los planos nacional, regional y mundial. Estos enfoques deben ser integrados en su contenido y estar orientados hacia su conocimiento, su acuerdo, su manejo y valor de recursos (Gío-Argáez, 1999).

En este sentido, el papel de los profesionistas en las ciencias marinas es de fundamental importancia, debido a que la relación entre los procesos ecológicos marinos son complejas y requieren un enfoque multidisciplinario y sistemático bien orientado. De esta manera, y tal como en la mitología griega se pensaba, se podrá adquirir el pleno entendimiento del ecosistema marino como parte del sistema tierra-cielo, y esto conllevará a un mejor aprovechamiento de sus recursos vivos.

Adolfo Gracia-Gasca es doctor en ciencias, especialista en ecología y manejo de recursos pesqueros. Es director e investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y profesor de posgrado de este instituto, así como profesor del Taller de Ecología y Peleoecología Marina en la Facultad de Ciencias, ambas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
gracia-gasca@icmyl.unam.mx

Bibliografía

- Cifuentes-Lemus J. L., P. Torres-García y M. Frías, (1995), *El océano y sus recursos II. Oceanografía geológica y oceanografía química, y VIII. El aprovechamiento de los recursos del mar*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Escobar, E., M. Signoret y D. Hernández (1999), "Variation of the macrobenthic infaunal density in a bathymetric gradient: Western Gulf of Mexico", *Ciencias Marinas*, 25(2), 193-212.
- Gage, J. D. y P. A. Tyler (1999), *Deep-sea biology. A natural history of organisms at the deep-sea floor*, Cambridge University Press.
- Gío-Argáez F. R. (1999) "La formación de recursos humanos para la oceanografía y las ciencias del mar", *Ciencia Ergo Sum*, vol. 6, núm. 2, 183-189.
- Gracia, A. (2001), "Biotecnología marina y acuicultura", en Bolívar-Zapata, F. (editor), *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: Retos y oportunidades*, México, SEP/Conacyt.
- Gracia, A. y A. R. Vázquez-Bader, (1999), "Shrimp fisheries in the south of the Gulf of Mexico: present state and future management alternatives", en Kumpf, H., D. Steidinger y K. Sherman, (compiladores), *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability, and management*, Berlín, Blackwell Science.
- Humbert, J. (1988), *Mitología griega y romana*, España, Gustavo Gili.
- Libes, S. M. (1992), *An introduction to marine biogeo-chemistry*, EUA, John Wiley & Sons.
- Nybakken, J. W. (2001), *Marine biology. An ecological approach*, EUA, Benjamin Cummings.
- Steimle, F. W., C. A. Zetlin, y S. Chang (2001), *Essential fish habitat source document: red crab, Chaceon (Geryon) quinqueedens, life history and habitat characteristics*, EUA, NOAA.

Raúl Gío-Argáez es doctor en ciencias, especialista en micropaleontología marina. Es investigador en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, y profesor de la materia de Paleobiología y del taller de Ecología y Peleoecología Marina en la Facultad de Ciencias, ambas de la UNAM. En 1992 recibió la medalla Alfonso L. Herrera del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables en el campo de Ecología y Conservación.
raulg@mar.icmyl.unam.mx

Adriana Gaytán-Caballero es bióloga egresada de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Colabora actualmente en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología en la UNAM, asignada al Laboratorio de Micropaleontología Ambiental. Ha colaborado en publicaciones científicas y de divulgación y en campañas de exploración oceánica.
gaytan@icmyl.unam.mx