



La vida en las grandes profundidades

Life at great depths

■ Jorge Hernández-Urcera y Ángel Guerra*

Resumen

Una rápida y rigurosa mirada a los inmensos y extraordinarios ecosistemas que están presentes en las grandes profundidades marinas permite describir sus principales características, las adaptaciones biológicas más relevantes de los organismos que lo pueblan. Este artículo analiza el reto que supone la exploración de un ambiente tan hostil para la Humanidad, algunos bienes y servicios que pueden obtenerse de este hábitat y expone la prioritaria necesidad de su conservación.

Palabras clave

Fondos abisales. Ecología marina. Adaptaciones biológicas. Bioprospección. Conservación del hábitat.

Abstract

A quick and thorough look at the immense and extraordinary ecosystems present in the deep sea realm allow us to describe their main features, the most relevant biological adaptations of inhabiting organisms. This article discusses the challenge of exploring an environment so hostile to Humanity, some goods and services that may be obtained from this habitat, and expose the priority need of conservation.

Key words

Abyssal realm. Marine ecology. Biological adaptation. Bioprospecting. Habitat conservation.

* Los autores son investigadores del Grupo ECOBIOMAR. Instituto de Investigaciones Marinas (www.iim.csic.es) del CSIC, Vigo. Hay una versión electrónica de este texto en: www.fundacionpfizer.org y www.dendramedica.es.

■ No pretendemos tratar con toda la extensión que se merece el tema que se expone en el título de este artículo, pues ello nos llevaría a escribir un tratado de muchas páginas. Nuestro objetivo es más modesto: mostrar algunas de las características más relevantes de un ambiente marino tan vivo, complejo, amplio y desconocido.

1. Algunas características generales

No hace muchos años, las grandes profundidades marinas permanecían casi completamente ignoradas por la Humanidad, debido a la hostilidad del sistema para unas criaturas terrestres y a la carencia de medios para explorar la enorme masa acuática. Tan sólo la genial intuición, volcada muchas veces en fantasías y leyendas, daba alguna información sobre las formas vivientes y su distribución en los dominios abisales. Con el desarrollo de la tecnología, el hombre ha podido asomarse a los fondos marinos y contemplar directamente la faz de la Naturaleza en los niveles donde la distancia a la superficie impide la llegada de la luz solar: el reino de la penumbra y la oscuridad.

En la columna de agua que separa el fondo de la superficie marina se establece una gradación de los factores ecológicos. La luz de origen solar desaparece por completo a profundidades superiores a los 500 metros. Por otra parte, el oxígeno decrece con la profundidad y, aunque en las zonas intermedias se encuentra disuelto en el agua en suficiente cantidad para permitir la vida animal, en ciertas fosas abisales puede desaparecer por completo y originar regiones abióticas en las que únicamente es posible la existencia de bacterias anaerobias. La temperatura también alcanza en esos fondos valores mínimos: nunca supera los 4°C, y en las zonas más profundas se acerca a los cero grados. Finalmente, la presión aumenta enormemente, al descender en la masa de agua: por cada 10 metros de profundidad se incrementa en una atmósfera, lo que supone valores cercanos a las 1.100 atmósferas en los enclaves más profundos.

2. Hay vida a esas profundidades

En el siglo pasado, casi nadie se imaginaba que las grandes profundidades oceánicas albergaran algún tipo de vida; los hombres de ciencia pensaban que una región tan fría y tan oscura debía estar privada de vida. Así, a principios del siglo XIX, el inglés Edward Forbes (1815-1854), pionero de las ciencias marinas, defendía que por debajo de los 500 metros de profundidad no podían existir organismos vivos. Sin embargo, esta «teoría azoica» fue refutada por el noruego Michael Sars en 1835 al descubrir y describir una veintena de especies de animales que viven a mayor profundidad. El rigor de las condiciones ambientales determina que las comunidades vivientes no sean muy numerosas, pero los organismos que las componen están provistos de adaptacio-



Figura 1.—Sumergible *Alvin* de la Woods Hole Oceanographic Institution (Massachusetts, EEUU) (WHOI, cortesía de los autores).

nes para prosperar en un medio que presenta condiciones tan adversas para la vida.

Después de aquellas primeras investigaciones, se iniciaron programas para el estudio de tan extraordinarias formas de vida, y se han ido diseñando equipos especiales para recoger muestras, entre los que destacan los vehículos sumergibles —tripulados o manejados por control remoto (figura 1)—, que han permitido penetrar en ese mundo descendiendo a muchos millares de

metros. El récord de esas inmersiones era tan sólo de 800 metros en 1934, pero un cuarto de siglo después, los exploradores han logrado descender hasta profundidades de 11.034 metros en la fosa de las islas Marianas, en el océano Pacífico noroccidental.

3. Las fuentes hidrotermales

Hace menos de 40 años, mientras se realizaban estudios geotérmicos sobre el equilibrio de los flujos térmicos, tuvo lugar uno de los hallazgos más importantes de nuestro tiempo: el descubrimiento de las fuentes hidrotermales en la dorsal de las Galápagos en el océano Pacífico. Los técnicos y científicos del sumergible norteamericano *Alvin* no esperaban encontrar el extraordinario paisaje de fumarolas negras colonizadas por densas poblaciones de exóticos y desconocidos animales, como el gusano tubícola gigante *Riftia pachyptila* (figura 2A).

En ocasiones, a las fuentes hidrotermales se las denomina «oasis» de vida de los fondos marinos profundos, por el exuberante aspecto de sus densas poblaciones de grandes invertebrados en medio de las extensas y yermas llanuras abisales. No obstante, al igual que sucede en otros ecosistemas con parámetros fisicoquímicos extremos, las comunidades de las fuentes hidrotermales son sistemas sencillos. La biodiversidad es baja, pero la biomasa es alta y se mantiene gracias al abundante y constante aporte de energía en forma de compuestos químicos reducidos (quimiosíntesis) que emanan de los fluidos y que gestionan varios tipos de bacterias. Desde su descubrimiento, en 1977, se han descrito más de 600 especies de organismos en las fuentes hidrotermales. Además, cerca de 400 de las especies descritas son endémicas. Los principales grupos de organismos encontrados son gusanos tubícolas vestimentíferos citados más arriba, mejillones del género *Bathymodiolus*, almejas de la familia *Vesicomysidae*, gambas de la familia *Bresiliidae*, cangrejos, anfípodos y poliquetos.

En estos ambientes tan peculiares vive el *Vulcanoctopus hydrothermalis* (figura 2B), un pulpo pequeño (no más de 30 centímetros de longitud total y 50 gramos de peso), funcionalmente ciego y albino. Estos pulpos conservan los ojos, que están cubiertos por unas membranas opacas y carecen de cristalino; además, tampoco tienen bolsa de la tinta (innecesaria en dicho ambiente); los cuerpos blancos de su cerebro —donde se originan las células de su sistema

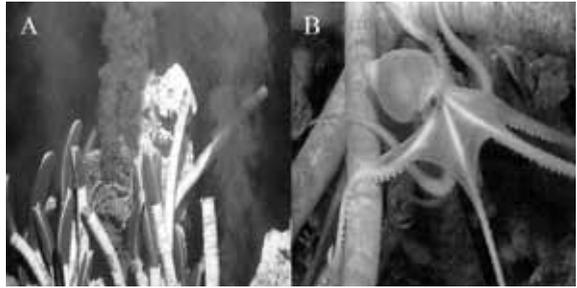


Figura 2.—Gusanos tubícolas de la especie *Riftia pachyptila* (A) y pulpo de la especie *Vulcanoctopus hydrothermalis* (B) en una fuente hidrotermal (Ifremer, cortesía de los autores).

inmunológico— están muy desarrollados, y la cantidad de sangre que fluye por su sistema circulatorio es varias veces superior a la de los pulpos de su mismo tamaño de aguas litorales. Esta adaptación conlleva que las células encargadas de la «limpieza» del organismo —los amebocitos (equivalentes a los glóbulos blancos)— sean cien veces mayores que los de sus congéneres en aguas superficiales. Esto es así porque estos pulpos necesitan estar protegidos de la contaminación e infección por las bacterias que son tan abundantes en este hábitat tan especial.

4. Cadáveres como fuentes de vida

Los cadáveres de las ballenas constituyen otro hábitat curioso que alberga comunidades dependientes de la energía química. Así, Craig Smith, de la Universidad de Hawái, fue el primero en observar, en 1987, comunidades quimiosintéticas en el esqueleto de una ballena encontrado por casualidad en el norte del Pacífico durante una inmersión en el submarino *Alvin*. Desde entonces, el estudio de las comunidades biológicas en los restos de ballenas y otros restos orgánicos de gran tamaño, como madera hundida y algas *kelp*, ha avanzado con rapidez.

En el caso particular de los restos de ballenas, existe una sucesión ecológica en tres fases: en primer lugar, durante la fase carroñera, algunos organismos se alimentan de la carne y dejan el esqueleto pelado. A continuación transcurre la fase oportunista, en la que los sedimentos y el esqueleto son colonizados por una densa población de poliquetos y crustáceos. La tercera y última fase es la quimiotrófica, también llamada sulfofilica. Como los huesos de estos majestuosos cetáceos están compuestos por lípidos en un 60%, la degradación bacteriana anaeróbica de éstos produce sulfuros que, posteriormente, son utilizados por microorganismos quimioautotróficos, lo que favorece la colonización por parte de fauna que depende de la energía química.

5. Características de los animales abisales

En las aguas de las capas superiores de los mares y océanos la luz no suele ser un factor limitante de la vida. Sin embargo, los últimos rayos de luz en forma de radiaciones violetas y ultravioletas se extinguen por completo aproximadamente por debajo de los 500 metros de profundidad. En esa ausencia de radiaciones luminosas no existen vegetales, porque estos organismos autótrofos (o elaboradores de materia orgánica a partir de la energía lumínica) y precisan de la luz solar para vivir (fotosíntesis). Por ese motivo, la síntesis de materia orgánica es mínima, y la que se produce lo es por intervención de las bacterias a través de la quimiosíntesis. La vida heterótrofa (normalmente animal) en esos lugares poco iluminados determina que los organismos se adapten a estas nuevas circunstancias y que la estructura de su cuerpo, así como su fisiología, se moldee para acomodarse mejor a ellas. La mayoría de los animales que habitan los fondos oceánicos no tienen otra posibilidad que depredarse unos a otros, o esperar a que caigan de la superficie restos de los animales y plantas de las capas superiores, como vimos que acontecía con los cadáveres de los grandes mamíferos marinos.

Las grandes profundidades de los océanos no están vacías; aunque carezcan de los inmensos bancos de peces, de cefalópodos y otros organismos de las aguas superficiales, tienen una vida propia que apenas se está empezando a conocer. Así, hoy sabemos que existen asombrosas criaturas que se mueven en esas profundidades en las que no se siente la acción del sol, el viento, las mareas, o el oleaje, pero que, aunque oscuro y frío, está surcado por tenues corrientes marinas.

Los animales de las grandes profundidades son claramente reconocibles por un conjunto de caracteres morfológicos. Muchos de ellos, principalmente los peces, se han adaptado a la penuria de alimento desarrollando enormes bocas y estómagos extremadamente dilatables, a fin de ingerir presas muy grandes, incluso mayores que ellos mismos. Otras de sus características son que suelen carecer de una coloración viva y brillante, llegando incluso a ser albinos, y la presencia de órganos luminosos o fotóforos en diferentes partes de su cuerpo. En cuanto a los ojos, hay animales que carecen por completo de ellos, o los tienen muy reducidos, como ocurre, por ejemplo, en varias especies del crustáceo *Pentacheles*. Por el contrario, hay animales cuyos ojos están enormemente desarrollados y adoptan formas muy diversas, como las tubulares en los denominados ojos telescópicos, necesarios para captar las débiles radiaciones luminosas emitidas por sus congéneres, otras especies, presas o depredadores. Un magnífico ejemplo de esto se observa en las etapas larvarias y juveniles del cefalópodo *Bathothauma lyronmma*.

En cuanto a la musculatura, es débil en numerosas especies, como el caso de las hembras gigantes del pulpo gelatinoso *Haliphron atlanticus*. Sin embargo, en otras especies la musculatura está lo suficientemente desarrollada como para permitir migraciones verticales de varios miles de metros a lo largo de la columna de agua, como los pequeños y omnipresentes peces mictófidos (gr. *mykter*, hocico; *ophis*, ser-

piente). Estas especies altamente migratorias tienen una elevada tolerancia a las variaciones de temperatura. No obstante, otras especies permanecen siempre en la proximidad del fondo, viven en ambientes de características prácticamente constantes y se desplazan lentamente por el fondo o cerca de él, siendo su metabolismo muy bajo. Varias de esas especies han desarrollado técnicas pasivas de desplazamiento aprovechando las corrientes marinas reinantes en esos grandes fondos, como acontece en los octópodos cerrados (pulpos *Dumbo*; [figura 3](#)).

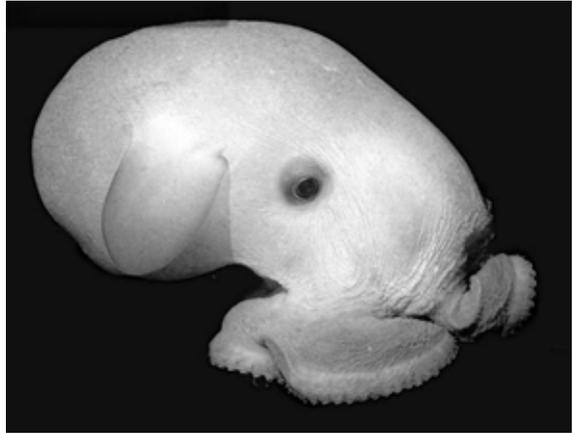


Figura 3.—Ejemplar de octópodo cerrado de la especie *Grimpot euthis abyssicola* (cortesía de los autores).

6. Organismos abisales sésiles

Excepto donde han aflorado los materiales magmáticos de la corteza oceánica, como acontece en las dorsales oceánicas, los fondos totalmente rocosos son infrecuentes en las grandes profundidades. En éstas son más abundantes los sustratos de tipo fangoso y arcilloso de escaso espesor, formados por los sedimentos que se deslizan desde la superficie cuando la topografía lo permite. Sobre esos fondos mora una fauna bentónica poco abundante pero muy diversa.

En esos fondos, los organismos evolutivamente más antiguos son las esponjas. Como están completamente abiertas al agua, ya que su cuerpo es muy poroso y está recorrido por innumerables canales, no tienen problema de presión a cualquier profundidad, ya que su presión interna está equilibrada con la externa. Son organismos resistentes y elásticos que sirven de alimento a muy pocos animales. El esqueleto de algunas esponjas está compuesto de una sustancia llamada esponjina, flexible y resistente. Por el contrario, el esqueleto de otras esponjas está formado por carbonato de calcio y son casi tan duras como la piedra. Otra variedad, y entre ellas se hallan algunas de las esponjas más hermosas, tienen esqueletos silíceos constituidos por agujas y filamentos entrelazados, dando la apariencia de vidrio hilado. Este tipo de esponjas que parecen de vidrio, como las del género *Euplectella* o regadera de Filipinas, de la que algunos ejemplares llegan a medir medio metro de longitud, se levantan delicadamente del fondo del océano, soportando presiones que convertirían al instante un automóvil en una lámina aplastada.

A pesar de la belleza de su esqueleto, las esponjas silíceas, abundantes en las profundidades oceánicas, encontraron muy pocos admiradores en 2007 entre los miembros del equipo investigador de la expedición danesa *Galathea 3*, entre otras razones, porque tuvieron que ser muy precavidos para que los fragmentos de estos organismos no penetraran como dolorosas astillas en sus manos. Asimismo, a lo largo de las costas del África que baña el Océano Índico, hay un conjunto de esponjas del género *Monuraphis*, que reciben el nombre vulgar de «esponjas de una aguja», por estar sujetas al sustrato del fondo por una única y gruesa espícula en forma de aguja vítrea. Igualmente, se ha observado que otras esponjas de las profundidades están ancladas al sustrato por fuertes cabos de vidrio, o mediante apéndices en forma de garfio, semejantes a las anclas utilizadas en las embarcaciones. Sea cual sea su forma de fijación al sustrato, el cuerpo de casi todas ellas posee forma de largos tallos para que el lodo del fondo no obstruya sus poros.

Algunas anémonas o actinias de las grandes profundidades marinas alcanzan una longitud de 30 centímetros o más. Suelen vivir aisladas y son cientos de veces mayores que otros celentéreos, como los pólipos individuales del coral. Esas actinias gigantes han tomado posesión de los declives continentales, de las llanuras abisales, y del fondo de las trincheras más profundas. Las imágenes obtenidas a grandes profundidades muestran con frecuencia organismos semejantes a las plumas de las aves. Se trata de «las plumas de mar», celenterados coloniales que pueden alcanzar hasta dos metros de altura. Estos organismos hunden una parte blanda y prolongada en el limo, la cual sostiene el resto de la colonia formada por largos tallos en los que los individuos se agrupan en manojos parecidos a plumas. A menudo, las plumas de mar que habitan en los abismos son bioluminiscentes. En la expedición *Galathea 3*, a 6.000 metros de profundidad en el Océano Índico, se recolectaron varias especies de la gran pluma de mar *Umbellula lidabli*, cuyas colonias están reunidas en forma de flor en la parte superior del tallo. En dicha expedición también se recolectaron plumas de mar todavía vivas y los exploradores daneses pudieron contemplar la delicada luz azulada que emiten antes de morir. En este aspecto, uno de los ejemplos más espectaculares corresponde a varias especies de *Pennatula*, que se iluminan cuando se los toca: el fulgor comienza en el punto de contacto y se extiende de rama en rama hasta que brilla toda la colonia.

Igualmente, en las profundidades de los océanos se han encontrado animales vivos que han existido desde hace millones de años, como el molusco monoplacóforo *Neopilina*, clasificado dentro del grupo de los moluscos, aunque hubo problemas en su identificación, ya que posee características de gusano, de molusco y de artrópodo. El biólogo británico C. M. Yonge, de la Universidad de Glasgow, consideró el descubrimiento «un acontecimiento zoológico de primer orden» que justificaba por sí solo el viaje del *Galathea* alrededor del mundo, pues su hallazgo vertió nueva y potente luz sobre uno de los aspectos fundamentales de la biología: el proceso de la evolución. En 1957, su descubridor, el doctor danés Henning Lemche, observó su parecido con un fósil llamado *Pilina*, extinguido hacía más de 560 millones de años, por lo que le llamó «nuevo *Pilina*» o *Neopilina*. El fósil *Pilina* parece que es un gusano en proceso

de convertirse en molusco, pero también posee características de artrópodo. Algunos autores han denominado a las especies de *Neopilina* «gusanos-caracoles», para indicar que son eslabones de unión entre dos grupos animales muy distintos. En 1958, el buque de investigación *Vema* encontró una variedad de neopilinas a más de 5.700 metros de profundidad a lo largo de la costa del norte de Perú. El análisis de la historia evolutiva de esas antiguas criaturas mantendrá ocupado a los hombres de ciencia en los años venideros.

Otros moluscos son poco comunes en las profundidades, y los que se encuentran presentan como características un mayor tamaño que sus parientes de aguas someras y unas conchas que tienden a ser más delgadas a medida que aumenta la profundidad, como en el caso de los grandes bivalvos localizados a 3.800 metros en la fosa submarina Nankai del Mar de Japón, cercanos a los manantiales calientes o fuentes hidrotermales de donde obtienen el metano que utilizan para producir su energía.

Cada vez existe más información sobre varias especies de pulpos, e incluso de familias diferentes, que viven pegados al fondo (bentónicos), muchos de ellos en regiones subantárticas. Son moluscos cuya esperanza de vida alcanza los 5 y 7 años, frente a los pulpos litorales que no sobrepasan los dos años de vida; son bastante lentos y su periodo de freza abarca casi por completo su ciclo vital: las hembras pueden estar poniendo huevos con cápsulas muy resistentes durante varios años, de los cuales nacen individuos muy parecidos a los adultos, aunque con una proporción diferente entre el cuerpo y los brazos, porque en los cefalópodos el desarrollo es directo y no existe metamorfosis, como en otros moluscos.

7. Fauna pelágica profunda: cefalópodos y peces

Las profundidades abisales pelágicas exploradas por submarinos provistos con cámaras de filmación están proporcionando grandes novedades en los últimos 25 años sobre los organismos que viven relativamente separados del fondo. Entre ellos, destacan los moluscos cefalópodos. Uno de los descubrimientos más sorprendentes ha sido un extraño calamar con unas enormes aletas en su cuerpo y unos brazos delgados y extremadamente largos y acodados, que llegan a medir 20 veces la longitud de su cuerpo. Estos calamares, de los que se han capturado apenas una decena de ejemplares, se filmaron en todos los océanos del mundo por submarinos de diferentes nacionalidades. A partir de los datos con que se cuenta se ha creado la nueva familia *Magnapinnidae*, cuyo significado en castellano es «aletas grandes».

Por otra parte, son cada vez más numerosas las especies de «pulpos Dumbo» o pulpos con grandes orejas y cirros en los tentáculos. Se trata de los octópodos cirrados que tienen sus brazos unidos por unos velos tenues y extensibles que les permite descender lentamente mediante «desplazamientos medusoides», como pulsaciones. Ese descenso lento en la columna de agua, como un paracaídas desciende en el aire, también les facilita capturar presas de gran tamaño con la bolsa que forman con sus tentáculos

extendidos y la umbrela expandida. Se ha observado que uno de estos cefalópodos es ciego, el *Cirrothauma murrayi*, una especie que vive entre 1.500 y 4.500 metros de profundidad alrededor del Océano Ártico.

Dentro de los cefalópodos, un animal emblemático es el calamar gigante, del cual existen varias especies. La más conocida es *Architeuthis dux* que puede alcanzar 18 metros de longitud y unos 250 kilogramos de peso. Se trata de una especie cosmopolita que vive entre 300 y 1.500 metros de profundidad, realizando migraciones verticales para depredar sobre bancos de peces y otros cefalópodos. En las aguas antárticas, la especie «pota ganchuda» *Mesonychoteuthis hamiltoni* puede alcanzar hasta 400 kilogramos de peso. Ambas especies presentan los ojos más grandes del reino animal, así en el *A. dux* llegan a medir 25 centímetros de diámetro (como una pelota de baloncesto) y su retina es muy sensible a baja intensidad lumínica y capaz de distinguir la luz polarizada.

La sabiduría que se aprecia en el diseño de las criaturas de las profundidades es aún más impresionante al estudiar los peces de los abismos. Los cuerpos de los peces de las grandes profundidades son elásticos y blandos, sus huesos son flexibles y su carne se asemeja a la de una medusa. No es necesario que se adapten especialmente a la presión, porque es la misma dentro y fuera de ellos, pues han perdido la vejiga natatoria, que, llena de gas, está presente en todos los peces de esqueleto óseo (teleósteos) de aguas menos profundas; el agua penetra en sus tejidos a una compresión de 7 u 8 toneladas por cada 10 centímetros cuadrados de su cuerpo, por lo que proporciona toda la protección que necesitan estos peces. Como en el abismo no hay olas ni tempestades, sino tan sólo débiles corrientes, estos peces no requieren esqueletos sólidos que les permitan resistir la turbulencia del mar. Además, el calcio, la sustancia principal para la formación de los huesos, es muy escaso en dichos ambientes, y la vitamina D, indispensable en la composición de los huesos, no puede producirse en una región sin luz solar. Causa asombro que los peces de las tinieblas tengan ojos inmensos, pero también que algunos carezcan por completo de ellos, o los tengan tan reducidos que no puedan serles muy útiles. Sin embargo, peces con ojos muy pequeños logran ver bien. Aunque sus retinas carecen de conos, que son los responsables de controlar la apreciación de los colores y la agudeza visual, presentan bastones extraordinariamente bien desarrollados. Dichas células reaccionan a la débil luz producida por la bioluminiscencia y dan buenas imágenes, aunque sean en blanco y negro. Además, los peces abisales poseen detrás de la retina una capa de refuerzo denominada *tapetum*, de forma que la luz que ha penetrado en el ojo se refleja en esta capa pasando dos veces por la retina. De este modo, se incrementa la sensibilidad luminosa, lo cual permite percibir una presa, un congénere o un depredador en una oscuridad casi completa. Por otra parte, esos particulares ojos están adaptados para reaccionar al más débil destello de luminiscencia, por lo que los colores vivos carecen de utilidad entre los peces de profundidad, que en su mayoría son de color negro o pardo oscuro.

El abismo está poblado de criaturas carnívoras y los habitantes de las profundidades presentan adaptaciones especiales para este tipo de dieta. Las formas más extraordinarias suelen encontrarse entre los peces abisales. Algunas especies poseen enormes

mandíbulas provistas de feroces y afilados dientes, que, como dagas, se hunden en sus presas, y un estómago inmenso, dilatable, y capaz de engullir presas de tamaño descomunal, si se las compara con las dimensiones propias del depredador, como en el caso del pez víbora (*Chauliodus sloani*; figura 4).

Sorprendentemente, en los encuentros aleatorios que ocurren en la oscuridad, los pequeños pueden devorar a los grandes. Hay algunos peces que sólo parecen tener cabeza y mandíbulas; hay otros con dientes tan enormes que no les caben dentro de la boca y quedan fuera de ella cuando sus mandíbulas se

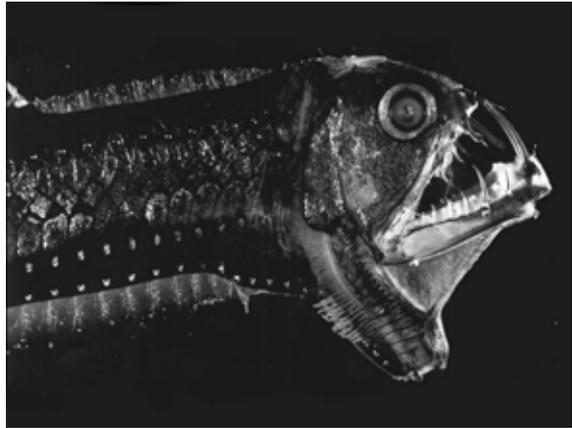


Figura 4.—Pez carnívoro de la especie *Chauliodus sloani* conocido como pez víbora. (cortesía de los autores).

cierran. Si se pregunta la razón de esas formas extrañas, la explicación reside en la continua falta de alimento, que obliga a cada especie a aprovechar cuanto cae de las capas superiores. En esas grandes profundidades hay que contar siempre con que la siguiente comida tardará bastante en llegar.

Ese escenario da lugar a conductas extrañas. Así, por ejemplo, el macho del pez pescador, presenta una curiosa pauta reproductiva. Este pez pertenece a los lophiiformes, un orden de peces la mayoría abisales, aunque otros son de aguas superficiales. El más famoso representante de este orden es el rape. Los lophiiformes se caracterizan por su modo de depredación: las primeras tres vértebras están modificadas, de modo que de la cabeza salen tres filamentos. El primero de los filamentos es el más largo y es móvil, de manera que puede ser utilizado como señuelo. En el caso de las especies abisales este señuelo se ilumina gracias a un proceso de simbiosis con bacterias bioluminiscentes. Pero lo que es sorprendente es el modo de reproducción de *M. johnsonii*, ya que presenta un caso extremo de dimorfismo sexual (o sea, de diferencia entre los machos y las hembras). Durante un tiempo se observó que únicamente se capturaban ejemplares hembras y que no se capturaba ningún macho. Tiempo después se observó que todas estas hembras tenían una especie de parásito cerca de los órganos genitales, hasta que los científicos se dieron cuenta de que dicho parásito era el macho, unas diez veces más pequeño que la hembra. Para aparearse, el macho muerde el vientre de la hembra y se funde con su cuerpo. La hembra le proporciona nutrientes y riego sanguíneo y el macho es una fuente permanente de esperma. De este modo se asegura la reproducción en un ambiente en el que encontrar pareja no es nada fácil. Este modo

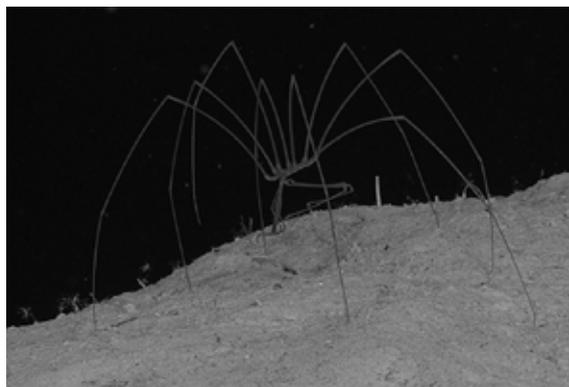


Figura 5.—Una especie de pantópodo fotografiada a 2.000 metros de profundidad. (cortesía de los autores).

de reproducción no es exclusivo de esta especie y se puede encontrar en otros lophiiformes.

Hay también varias especies de peces que pueden morar relativamente lejos del fondo, o bien sobre el sustrato, y que descienden hasta él para engullir grandes cantidades del limo que tapiza uniformemente el fondo. En medio de esta sustancia, que puede resultar indigesta y no nutritiva, se esconden partículas alimenticias, trozos de sustancias orgánicas y microorganismos, que son aprovechados. Como este alimento tiene escasísimo poder nutritivo, el animal com-

pensa tan pobre dieta ingiriendo grandes volúmenes de fango.

La morfología corporal de los peces de las grandes profundidades también es muy variada. Entre los peces más comunes en profundidades superiores a 1.000 metros se encuentran los macrúridos o «colas de rata», cuyo aspecto es sumamente extraño: sus cabezas son muy gruesas y están fuertemente blindadas, pero sus cuerpos se adelgazan rápida y bruscamente hasta convertirse en largas y delgadas colas de hasta 30 centímetros de longitud.

8. Los organismos abisales más numerosos

Los animales más numerosos en los abismos son los crustáceos. Estos invertebrados se caracterizan por tener las patas articuladas y su cuerpo protegido por una cubierta quitinosa. La capa de fango blanda y tenue que tapiza el fondo de los océanos hace que los cangrejos de cuerpo pesado se hundan en ella, quedando así resguardados y protegidos, en tanto que otros tienen delgadísimas y largas patas, a modo de zancos, para sortear el peligro de verse cubiertos por el limo. Entre estos animales son notables los individuos del género *Colossendeis*, que presenta unas patas inmensas y un cuerpo reducido a su mínima expresión, por lo que se les incluye en el grupo de los pantópodos (figura 5), nombre muy descriptivo que traducido fielmente significa «todo patas», aludiendo a que las extremidades son las partes más evidentes del cuerpo, constituyendo el resto un insignificante y ridículo esbozo.

La vida en perpetua tiniebla tiene como consecuencia que los órganos del tacto alcancen un desarrollo y unas dimensiones extraordinarias. Los crustáceos del tipo

camarones, quisquillas y langostas tienen antenas táctiles de dos o tres veces la longitud de su cuerpo. Sus patas son también desmesuradamente largas. Aunque generalmente las langostas prefieren vivir en aguas someras, algunos ejemplares se han localizado en las profundidades abisales. La expedición *Galathea* encontró una langosta albina a una profundidad de 5.200 metros a lo largo de las costas de Indonesia. Igualmente, a 3.000 metros en las costas del Pacífico, en América Central, dicha expedición recogió una langosta ciega con grandes pinzas delanteras y frágil aspecto.

Hay numerosas especies de camarones que se encuentran con frecuencia a grandes profundidades. Los que viven de 4.500 a 6.000 metros bajo la superficie del mar no tienen un aspecto muy diferente a los que llegan a nuestras mesas, a excepción de que son más grandes, llegando a alcanzar hasta los 30 centímetros de longitud, y a veces de color más vivo. El camarón rojo de las profundidades, llamado *Acanthephyra purpurea*, lanza una sustancia bioluminiscente a través de sus glándulas situadas a los lados de la boca, con la que atrae a sus presas para capturarlas. Otro notable camarón de los abismos, el *Sergestes atlanticus*, es de color escarlata y en la punta posee una larga antena gruesa, flexible como látigo, semejando una caña de pescar. De dicha antena salen numerosos garfios curvados hacia adelante con los que capturan y trasportan a sus presas hasta que quedan al alcance de sus terribles pinzas.

9. El gigantismo abisal

El gigantismo es un fenómeno biológico bastante conocido en los animales terrestres. Sin embargo, llama la atención que este fenómeno también ocurra en el medio marino, y, más concretamente en las profundidades abisales, en las que se ha detectado una tendencia que afecta a numerosas especies de invertebrados y de otros organismos, según la cual existen especies que pueden alcanzar grandes tamaños a diferencia de sus homólogas en aguas menos profundas.

Técnicamente, se entiende por «gigantismo abisal» aquel que ocurre por debajo de los 2.500 metros de profundidad. Por esta razón, los calamares gigantes no entrarían propiamente dentro de esta clasificación. Sin embargo, este fenómeno afecta a especies de otros grupos zoológicos. Así, por ejemplo, existe un anfípodo gigante (*Alicella gigantea*) y también un isópodo de grandes dimensiones, ambos organismos necrófagos. También se han encontrado seres simbióticos como los gusanos gigantes del género *Riftia* y la almeja gigante *Calypptogena magnifica*, que obtienen su energía de las bacterias presentes en los fluidos de las fuentes hidrotermales.

10. La bioluminiscencia

La bioluminiscencia, o proceso biológico de producción de la luz natural, es una propiedad muy común en la oscuridad de los abismos y es la única fuente de luz

presente a las grandes profundidades. Los seres luminosos emiten destellos que rasgan constantemente la obscuridad de las profundidades donde nunca llega la luz del Sol. Se trata de una energía lumínica sin pérdida de calorías, emitida en unos órganos llamados fotóforos en los que, generalmente, se realiza un proceso químico, mediante una enzima, la luciferasa, que reacciona con la luciferina con desprendimiento de luz. No obstante, en otras ocasiones, la luz se produce por bacterias simbiotas de distintas especies, que viven en el interior de los órganos luminosos.

La mayor parte de los peces abisales poseen fotóforos, y las transformaciones distintas que adquiere su cuerpo en orden a los diferentes tipos de caza son innumerables. Sin embargo, tal vez el método más extendido sea el de situar el órgano luminoso en el extremo de un apéndice que, a manera de caña de pescar, atrae a las incautas presas. En muchos cefalópodos y peces mesopelágicos, la localización de los fotóforos sobre la superficie ventral permite que el animal se libere de los depredadores de las capas inferiores, puesto que únicamente distinguirían por encima de ellos una luz difusa proveniente de arriba en lugar de las siluetas correspondientes a sus presas, lo que se conoce como «contra-iluminación».

11. Nuevos productos terapéuticos de origen marino

Biólogos y químicos de todo el mundo comenzaron en los años ochenta a estudiar los productos de origen marino, dando lugar a la eclosión de la bioprospección marina: la búsqueda de organismos acuáticos para la investigación y el desarrollo de nuevos productos terapéuticos. Esto explica que la exploración de los fondos abisales sea una actividad incipiente y que sólo conozcamos una mínima parte de su potencial. Aunque la biodiversidad de los océanos es mucho mayor que la de los ecosistemas terrestres, su aprovechamiento para identificar nuevos compuestos químicos y descubrir nuevos fármacos apenas ha comenzado: actualmente se obtienen de las profundidades marinas aproximadamente 20.000 sustancias naturales, mientras que las sustancias naturales de origen terrestre son más de 180.000.

La investigación de productos naturales marinos comprende varias etapas, como son la recolección de especímenes, su clasificación taxonómica, la extracción de las posibles moléculas activas, la evaluación de la actividad terapéutica mediante técnicas de *screening*, la determinación y aislamiento de la estructura responsable de la actividad, y el estudio de la posibilidad de obtener las sustancias por síntesis orgánica. Acabado este proceso, se solicita la patente de las moléculas prometedoras. A continuación, las moléculas se estudian en ensayos en animales y, si los resultados son positivos, su estudio continúa en seres humanos o en fase clínica. Superada esta última fase, se procede a la solicitud de registro del nuevo fármaco y a su comercialización.

Las esponjas son objeto de numerosos estudios tras el descubrimiento, en 1959, de que algunas de ellas producían sustancias con actividad antimicrobiana. Los investigadores no tardaron en descubrir que otros invertebrados como los corales y los

tunicados poseen actividad antitumoral. Dichos organismos tienen en común su vida sésil, cuerpos blandos e inmóviles, que, en muchos casos, tienen el aspecto de plantas. Al no poseer defensas físicas, como conchas o espinas protectoras, y carecer de agilidad para la huida, estas especies presentan metabolitos de protección que pueden utilizarse como fármacos debido a sus características de citotoxicidad o modulación de actividades biológicas.

Hacia el último tercio del siglo xx, el descubrimiento de varios compuestos de origen marino capaces de inhibir el crecimiento de cultivos celulares estimuló el interés del sector farmacéutico. La fascinante variedad de los organismos marinos abisales ofrece grandes oportunidades para la inspiración y el descubrimiento de nuevos fármacos, destacando sobre todos ellos los compuestos con actividad antitumoral. La quimioterapia actual para tratamiento de varios tipos de cánceres está dominada por los productos naturales, pues más del 60% de los fármacos utilizados con este fin tienen ese origen. Teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud considera el cáncer como la segunda causa de muerte en los países desarrollados, este dato resulta especialmente interesante y prometedor.

12. Ambientes a proteger y conservar

Las expediciones científicas emprendidas para explorar los grandes abismos del océano han proporcionado datos muy interesantes acerca de la manera en que los organismos están distribuidos en los grandes fondos. Dada la estabilidad de las condiciones del ambiente, parecería lo natural que dichos organismos estuvieran uniformemente repartidos. Sin embargo, un hecho curioso es la extensa dispersión que presentan. Apenas se está penetrando en los misterios del abismo y todavía falta recorrer un largo camino para llegar a comprender y estructurar perfectamente la vida en los dominios abisales, pero se sabe lo suficiente para comprender que son ecosistemas muy vulnerables y de muy difícil recuperación. Con el rápido desarrollo de las nuevas tecnologías, industrias como la extracción petrolífera, la pesca de arrastre a grandes profundidades o la minería están penetrando cada vez más en estas zonas profundas de los océanos. Dichas actividades humanas, así como el vertido de materiales tóxicos, están afectando a ecosistemas muy frágiles, a veces incluso antes de que conozcamos la diversidad y el funcionamiento de sus diferentes comunidades.

Las alteraciones antropogénicas son especialmente importantes en el fondo marino porque muchas de las especies que alberga tienen una vida larga, crecen lentamente y su maduración sexual es tardía, de modo que la recuperación de las poblaciones afectadas por posibles alteraciones del medio puede ser un proceso largo, pudiéndose llegar incluso a la extinción. Algunos de los ecosistemas con mayor riesgo son los corales de aguas profundas y las montañas submarinas por debajo de los 1.000 metros de profundidad, en las que crecen y se desarrollan varias especies de peces comerciales.

Las profundidades marinas esconden importantes recursos biológicos y geológicos. Es aquí y ahora donde debe aplicarse con el máximo rigor «el principio de precaución». Los científicos están colaborando con las industrias, las agencias de conservación y los políticos con objeto de desarrollar alternativas para la promoción de la conservación y la gestión de un medio que sigue siendo uno de los grandes desconocidos de un planeta, que, aunque ha recibido milenariamente el nombre de «Tierra», debería denominarse «Agua», pues realmente la hidrosfera, o el conjunto de toda el agua que hay sobre la superficie de la Tierra, cubre casi las tres cuartas partes de la superficie terrestre. En forma de agua salada, este indispensable elemento para la vida se concentra en los océanos, cuya profundidad media se estima en aproximadamente 3.900 metros, es decir, que en su mayor parte se trata de profundidades abisales.



Bibliografía seleccionada

- Cavanaugh CM, Gardiner SL, Jones ML, Jannasch HW, Waterbury JB Prokaryotic cells in hydrothermal vent tube worm *Riftia pachyptila* Jones: possible chemoautotrophic symbionts. *Science*. 1981;213:340-2.
- Corliss JB, J. Dymond J, Gordon LI, Edmond JM, Von Herzen RP, Ballard RD, Green K, Williams S, Bainbridge A, Crane K, Van Andel TH. Submarine thermal springs on the Galapagos Rift. *Science*. 1979;203:1073-83.
- Felbeck H, Childress JJ, Somero GN. Calvin-Benson cycle and sulphide oxidation enzymes in animals from sulphide-rich habitats. *Nature*. 1981;293:291-3.
- Forges BR, Koslow JA, Poore CGB. Diversity and endemism of the benthic seamount fauna in the south-west Pacific. *Nature*. 2000;405:944-47.
- Freiwald A, Fosså JH, Grehan A, Koslow T, Roberts JM. Cold-water coral reefs. Cambridge, Reino Unido: UNEP-WCMC; 2004.
- Gage, Tyler PA. Deep-sea biology. A natural history of organisms at the deep-sea floor. Cambridge: Cambridge University Press; 1991.
- González AF, Guerra A, Pascual S, Briand P. *Vulcanoctopus hydrotermalis* gen. et sp. nov. (Mollusca, Cephalopoda): an octopod from a deep-sea hydrothermal vent site. *Cah Biol Mar*. 1998;39:169-184.
- Hessler RR Sanders LL. Faunal diversity in the deep sea. *Deep-Sea Res*. 1967;14:65-78.
- Levin, L. A. Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev*. 2003; 41:1-45.
- Smith CR, Baco AR. The ecology of whale falls at the deep-sea floor. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev*. 2003; 41:311-354.
- Stuart CT, Rex MA, Etter RJ. Large-scale spatial and temporal patterns of deep-sea benthic species diversity. En: Tyler PA, ed. *Ecosystems of the deep oceans. Ecosystems of the world*. Amsterdam: Elsevier; 2003. p. 295-311.
- Van Dover CL, German CR, Speer KG, Parson LM, Vrijenhoek RC. Evolution and biogeography of deep-sea vent and seep invertebrates. *Science*. 2002; 295:1253-7.