

El mar profundo ante el cambio climático: impactos en el ecosistema más grande del planeta

Resumen

Hoy día se sabe que el mar profundo, por su extensión en el planeta, tiene un papel importante en la regulación del clima. En él participa la vida marina, micro y macroscópica. Debido al calentamiento global, resultado de la actividad humana, la tendencia del mar profundo es a calentarse, acidificarse y desoxigenarse. Estos cambios amenazan la biodiversidad y comprometen procesos esenciales en el mar profundo para la vida en el planeta.

Abstract

The vast deep sea plays a vital role in regulating our planet's climate through all forms of marine life. Human-caused global warming is now making these deep waters warmer, more acidic, and lower in oxygen. These dangerous changes threaten deep-sea biodiversity and risk vital life-support systems on Earth.

¿Qué es el mar profundo?

Hace poco más de 150 años, el mar profundo, agua y fondo marino a más de 200 metros de profundidad, se consideraba desprovisto de vida por la ausencia de luz que permitiera llevar a cabo fotosíntesis. Este hecho fue cuestionado por diversos académicos involucrados en el tendido de cable telegráfico y su mantenimiento. La controversia suscitada dio inicio a décadas de exploración del ecosistema marino más grande.

La exploración marina del siglo XIX también promovió el desarrollo y la innovación de tecnología que reconoció la dimensión del océano como el más extenso espacio habitable para la vida en el planeta Tierra, donde las aguas y el fondo marino a más de 200 metros de profundidad comprenden un volumen estimado de 1 368 millones de kilómetros cúbicos y una profundidad promedio de 3 800 metros. En este entorno de oscuridad permanente, la temperatura es baja, la vida marina está expuesta a alta presión hidrostática y, en su mayor parte, aquélla depende del alimento producido en la superficie del océano.



A pesar de haber transcurrido más de 150 años de la exploración de este ecosistema remoto y de difícil acceso, se tiene un limitado conocimiento y conciencia de su existencia. La visita a éste de manera física se realiza para fines bélicos y científicos por medio de submarinos y sumergibles (vehículos tripulados) (**Figura 1**) con acceso limitado a un número reducido de personas. A los sumergibles se suman los vehículos de operación remota (vehículos no tripulados) que permiten la observación directa del fondo marino, el registro y la colecta de muestras en los hábitats de mar profundo (**Figura 1**). Ambos tipos de vehículos se encuentran equipados con cámaras –actualmente de alta definición–, instrumentos para el registro de condiciones ambientales como temperatura, profundidad y oxígeno, y herramientas como el procesador de muestras ambientales (ESP, por sus

siglas en inglés) que colecta y analiza *in situ* muestras de agua e identifica la presencia de organismos y toxinas biológicas, o como los brazos robóticos para la colecta de muestras de roca, sedimento y biota. Dependiendo de las características de construcción, algunos vehículos de operación remota pueden alcanzar profundidades de hasta 6 000 metros. El costo para el despliegue de estos equipos de alta tecnología es elevado y requiere de infraestructura única y personal técnico altamente capacitado para su construcción, operación y mantenimiento. Todo ello ha limitado la exploración y el conocimiento sobre el mar profundo.

En 2012, la expedición llevada a cabo por James Cameron en la trinchera de las Marianas en el océano Pacífico occidental –considerado el punto más profundo del océano– descendió a 10 908 metros de

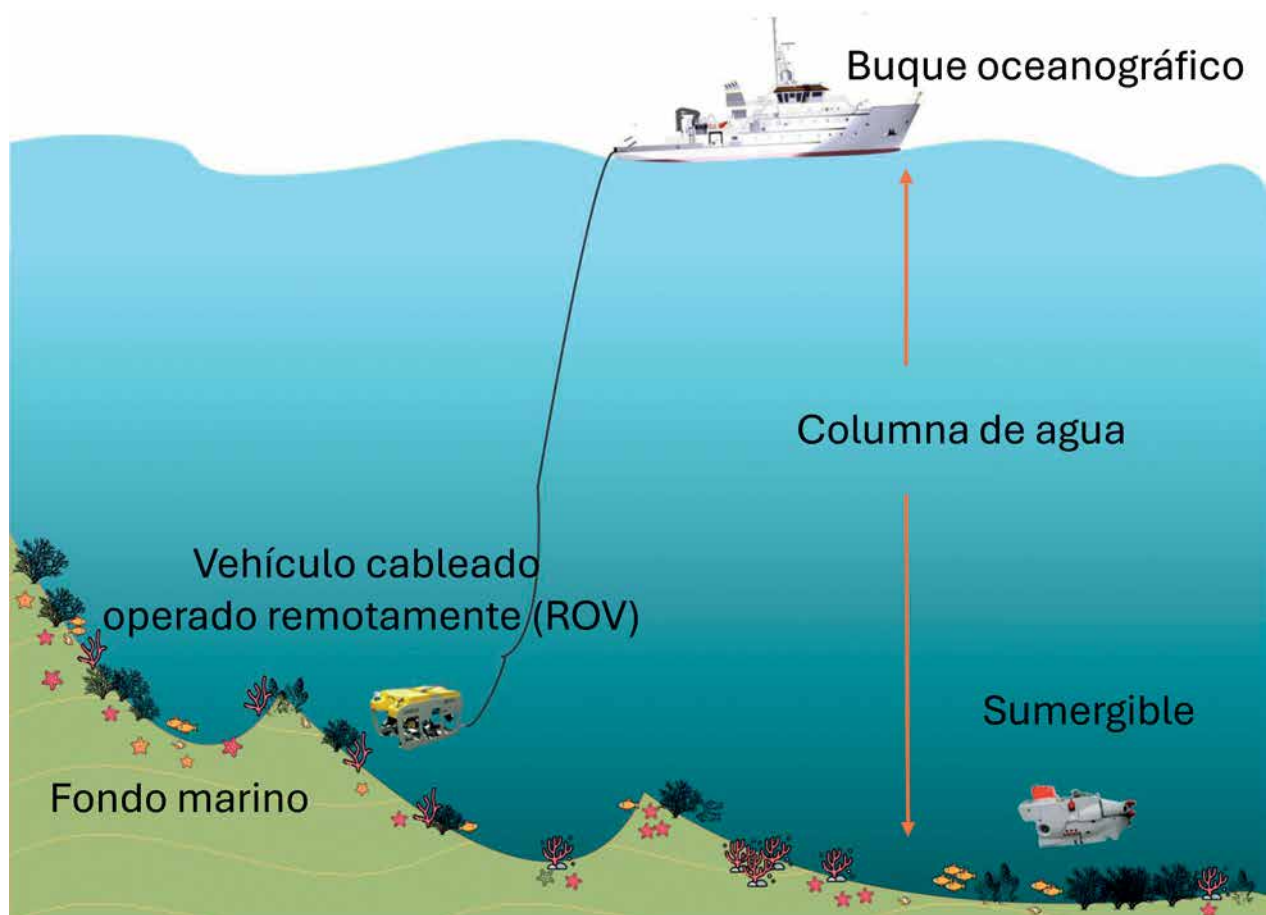


Figura 1. Estudio de la fauna y hábitats en el mar profundo. Ilustración de un sumergible (derecha) y un vehículo de operación remota (izquierda) desplegados desde un buque de investigación oceanográfica. El vehículo de operación remota es controlado desde el buque por cable con capacidad de transmisión de datos y video en tiempo real.

profundidad con el sumergible Deepsea Challenger —que cuenta con un innovador diseño vertical tipo cápsula con capacidad para una sola persona— y confirmó en video la presencia de vida en el lecho marino. Posteriormente, Victor Vescovo llevó a cabo 39 inmersiones documentando los sitios más profundos de cada uno de los cinco océanos.

La exploración del mar profundo en las últimas décadas ha evidenciado la presencia de una gran diversidad de hábitats, como cañones, cordilleras, acantilados y montes submarinos, entre muchos otros, que albergan vida, la mayor parte de la cual ha resultado nueva para la ciencia, por lo que este ecosistema de mayor extensión, de gran estabilidad y más antiguo, caracterizado por especies longevas y endémicas, puede ser uno de los más diversos.

■ Importancia del mar profundo para el planeta

■ En el mar profundo, la biota que lo habita lleva a cabo importantes procesos, entre los que está la filtración de partículas por organismos gelatinosos que habitan el agua y por fauna sésil, anclada en rocas y sustrato duro, que captura las partículas que se depositan en su caída desde la superficie hasta el fondo marino, manteniendo un océano transparente. Los microorganismos degradan la materia orgánica

—conformada principalmente por partículas que provienen de restos del fitoplancton— y la transforman nuevamente en compuestos y elementos básicos para los ciclos de carbono, nitrógeno, fósforo y sílice, entre otros —lo que se denomina **remineración**—, requeridos en procesos de la zona iluminada del océano. Mucha de la materia orgánica remineralizada en el agua, la depositada en el sedimento y la acumulada en organismos longevos es secuestrada de la atmósfera por más de cien o mil años y tiene un rol fundamental en la regulación del clima de la Tierra. Esto es parte de la bomba biológica en el océano.

El aumento en las cantidades de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero producidos en la generación de electricidad, transporte, en la industria, la agricultura, la ganadería y en el hogar, ha incrementado la velocidad y la magnitud del calentamiento global. No obstante, se estima que, desde el inicio de la Revolución Industrial en el siglo XVIII hasta el día de hoy, el mar profundo ha capturado alrededor del 30 % del dióxido de carbono atmosférico producido por actividades humanas, así como el 90 % del calor resultante de los cambios en la composición de la atmósfera por efecto de dichas actividades humanas que han iniciado una transformación de las características del océano (**Figura 2**).

◀ Remineralización

Proceso biológico y químico de reciclaje de nutrientes en el océano, en el cual la materia orgánica de la superficie desciende al fondo marino, se descompone y se transforma nuevamente en compuestos inorgánicos simples.



Figura 2. Efectos del calentamiento del océano para el mar profundo y su fauna como resultado del cambio climático provocado por las actividades humanas.

Vulnerabilidad del mar profundo ante el cambio climático

El cambio climático, a través del calentamiento, acidificación y desoxigenación del océano, amenaza la biodiversidad y compromete los servicios naturales que provee el mar profundo (Figura 2). La evidencia actual indica que el calentamiento global incrementa en promedio 0.1 °C cada diez años, aunque este proceso es distinto en las diferentes regiones oceánicas. En aguas mexicanas, existe un registro desde 1970 del incremento gradual de la temperatura (0.017 °C por año) en la costa suroeste de la península de Baja California, lo cual, para el año 2013, correspondía a un incremento de 0.80 °C. Esto ha afectado la abundancia de moluscos y peces de interés comercial, por ejemplo, en Bahía Magdalena, donde se ha observado una disminución de estos recursos pesqueros.

La fauna marina tropical es una de las más sensibles ante el cambio climático debido a que por largo tiempo ha evolucionado en condiciones estables de temperatura; aunque puede ser que responda con cambios metabólicos o modificando su distribución hacia áreas más propicias para mantener una condición fisiológica óptima.

El cambio en la temperatura del océano comúnmente va acompañado de modificaciones en otras variables ambientales. En las aguas marinas tropicales de México, el calentamiento se asocia a una menor disolución de oxígeno y menor aporte de **carbono orgánico particulado** por estratificación térmica (Figura 2), todo ello sumado a una menor capacidad de investigación. Por su ubicación geográfica, el océano en México se estratifica más tiempo. El agua más caliente y menos densa se encuentra en la superficie, el agua más fría y densa se halla por debajo. A mayor temperatura se disuelve menos oxígeno. En el Pacífico oriental se desarrolla de forma natural, entre 25 y a más de 1 500 metros de profundidad, una región de oxígeno bajo conocida como “zona de mínimo oxígeno”, donde los microorganismos agotan casi por completo el oxígeno en el agua y sedimento. Algunas especies de microorganismos y de fauna son tolerantes a las bajas condiciones de oxígeno y prosperan asociadas a éstas o en las fronteras con la zona

oxigenada. Investigaciones realizadas en el Golfo de California, México –en una colaboración entre el Monterey Bay Aquarium Research Institute, de Estados Unidos, y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM–, han registrado densidades elevadas de escualos, bivalvos, nemátodos, corales y esponjas de aguas profundas que toleran las condiciones de la zona de mínimo oxígeno (Figura 3). Con el cambio climático muchas especies se desplazarán a otras regiones más frías, mejor oxigenadas y con mayor cantidad de alimento.

El calentamiento global actúa en sinergia con otros cambios en el océano que afectan el patrón de suministro de alimento proveniente de la superficie (Figura 2). Esto causará impactos en los ecosistemas del mar profundo que dependen en gran parte del suministro de alimento de la superficie. También se verán afectadas algunas especies del mar profundo que tienen larvas que habitan aguas someras y se alimentan en aguas superficiales. La acidificación del océano, sumada a la desoxigenación de las aguas y a las altas temperaturas en los océanos, afecta los jardines de corales y esponjas del mar profundo que forman complejas estructuras tridimensionales y proveen de un hábitat a numerosas especies asociadas (Figura 2). Los corales de aguas profundas crecen unos cuantos milímetros por año y este ritmo lento los hace vulnerables para recuperarse tras los cambios.

Ante estos escenarios, se ha buscado reducir el dióxido de carbono atmosférico mediante diversas estrategias de hundimiento de carbono al mar profundo, pero al momento no se tiene certeza científica de que funcionen en la escala espacial y temporal requeridas. Los modelos predictivos necesarios para conocer la tendencia del calentamiento, la acidificación del océano o la expansión de las zonas de oxígeno mínimo se basan en registros del ambiente marino. El conocimiento y datos de observaciones de largo plazo en diversas localidades con que se cuenta actualmente permiten generar escenarios climáticos.

Las áreas protegidas en el mar profundo son refugios que evitan la pérdida de especies. A la fecha estas áreas protegidas representan menos del 30 % a

Carbono orgánico particulado

Fracción de carbono orgánico originado en la superficie del océano a través de fotosíntesis en suspensión o en descenso hacia el fondo marino, con un tamaño de 0.7 a 10 µm, compuesta por células muertas, heces, detritos y nieve marina.



Figura 3. Corales de aguas profundas. Jardín de corales y esponjas a 849 metros de profundidad en la cuenca de Guaymas, Golfo de California, que habitan en la frontera de la zona oxigenada con la zona de oxigenación reducida. La acidificación y desoxigenación producto del cambio climático podrían causar la pérdida de estos hábitats que son oasis de diversidad. Imagen: Monterey Bay Aquarium Research Institute.

nivel global y en México constituyen el 21.55 %, lo cual contribuye a alcanzar la meta del 2030. Desde 2010 en México se ha decretado como áreas protegidas de mar profundo a ventilas hidrotermales y en 2016 se decretó la Reserva de la Biosfera Pacífico Mexicano Profundo.

El estudio del mar profundo requiere de mayor inversión, de la colaboración entre instituciones de investigación y de instrumentos jurídicos que ayuden a la creación de programas de observación y seguimiento a largo plazo.

Pedro H. López-Garrido

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación.

pedro_lopez@comunidad.unam.mx

Elva Escobar Briones

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

escobri@cmarl.unam.mx

Referencias específicas

Escobar-Briones, E. (2014a), “¿Qué es el mar profundo?”, en A. Low Pfeng y E. M. Peters Recagno (comps.), *La frontera final: el océano profundo*, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 1-10.

Escobar-Briones, E. (2014b), “Efectos de las actividades humanas sobre el mar profundo: tendencias mundiales y estado actual del conocimiento en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México”, en A. Low Pfeng y E. M. Peters Recagno (comps.), *La frontera final: el océano profundo*, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 287-304.

Levin, L. A. y N. Le Bris (2015), “The deep ocean under climate change”, *Science*, 6262(350):766-768.