

FUNDADA EN 2001

EDICIÓN ESPECIAL, MAYO DE 2024, ISSN 1659-0112

REVISTA COSTARRICENSE DE POLÍTICA EXTERIOR

EDICIÓN ESPECIAL
DIPLOMACIA AZUL:
UNA MIRADA HACIA EL OCÉANO

PUBLICACIÓN DE LA
ACADEMIA DIPLOMÁTICA MANUEL MARÍA DE PERALTA
MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES Y CULTO



SAN JOSÉ, COSTA RICA
MMXXIV

Presidenta del Consejo Editorial:

Carmen Claramunt Garro

Consejo Editorial:

Esteban Penrod Padilla

María Gabriela Castillo

Carol Arce Echeverría

María Isabel Sanabria Castro

Jorge Umaña Vargas

FOTOGRAFÍA DE PORTADA

Fotografía suministrada generosamente
por el Schmidt Ocean Institute

COSTA RICA DESCONOCIDA: UN MAR DE OPORTUNIDADES A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN DEL OCÉANO PROFUNDO

Sergio Cambronero-Solano*, Jorge Cortés, Beth Orcutt, Diva Amon,
Odalisca Breedy, Emily Jayne Cowell, Tim D'Angelo, Michel Droge,
Maila Guilhon, Carlos Hiller, Rachel Lauer, Holly Lutz, Wendolyn Matamoras,
Beatriz Naranjo-Elizondo, Robert Perrin, Gustavo Ramírez, Celeste Sánchez-Noguera,
Maria Isabel Sandoval, Janet Voight, Sofía Cortés, Fiorella Vásquez¹⁰

Resumen	Abstract
Construir puentes desde las ciencias marinas hacia tomadores de decisiones es fundamental en la gobernanza del océano, un aspecto clave en el desarrollo de la sociedad moderna y el ordenamiento espacial marítimo. A través de una exploración que abarca desde los descubrimientos científicos en el océano profundo hasta las políticas marinas a largo plazo y la diplomacia internacional, este manuscrito resalta cómo Costa Rica puede forjar un modelo de gestión marina basado en ciencia y alineado con el principio precautorio. Además, destaca la importancia de integrar los hallazgos de la investigación científica en el océano profundo en la elaboración de las políticas marinas, considerando éstas tanto a nivel nacional como internacional. El documento se presenta de la siguiente forma: una introducción y reseña histórica del contexto de importancia del océano, con un enfoque en Costa Rica y la región. Seguidamente un preámbulo donde se presenta el potencial de la investigación en el océano profundo y sus hallazgos, donde se expone de manera detallada el enfoque de investigación del proyecto <i>Octopus Odyssey</i>, junto con los resultados y conclusiones preliminares de la primera expedición. Además, se abordan los esfuerzos de comunicación y	Building bridges from marine sciences to decision-makers is crucial in ocean governance, a key aspect in the development of modern society and maritime spatial planning. Through an exploration spanning from scientific discoveries in the deep ocean to long-term marine policies and international diplomacy, this manuscript highlights how Costa Rica could promote a science-based marine management model aligned with the precautionary principle. It emphasizes the importance of integrating deep ocean scientific research findings into the development of marine policies, considering these at both national and international levels. The document presents an introduction and historical overview of the context of ocean importance, focusing on Costa Rica and the region. Following this, a preamble presents the potential of research in the deep ocean and its findings, detailing the research approach of the <i>Octopus Odyssey</i> project, along with the results and preliminary conclusions of the first expedition. Furthermore, it discusses communication and educational efforts generated from the project. This contribution is presented in an applied manner, providing a reflection on the role of ocean research in proposing marine policies. The

10 Afiliación de autores: *Equipo Octopus Odyssey*. Correspondencia: sergio.cambronero.solano@una.cr; info@somospelagos.com

educación que han surgido del proyecto. Este aporte se presenta de manera aplicada, ofreciendo una reflexión sobre el rol de la investigación del océano en la propuesta de políticas marinas. El documento concluye con las perspectivas unificadas de los autores con respecto a las oportunidades de gobernanza marina para Costa Rica.	document concludes with the unified perspectives of the authors regarding marine governance opportunities for Costa Rica.
Palabras claves: océano profundo, investigación, gobernanza marina, principio precautorio.	Keywords: deep ocean, research, marine governance, precautionary principle.

I. INTRODUCCIÓN

El océano se rige por dinámicas fluidas y características volumétricas únicas, resultado de una interacción continua y compleja de procesos geofísicos y ecosistémicos. Estas particularidades, junto con la compleja distribución de la biodiversidad marina, representan un ámbito que contrasta con el manejo que se da en tierra. Los aspectos que caracterizan al océano profundo, aguas por debajo de los 200 metros de profundidad, contrastan de manera significativa con las perspectivas convencionalmente terrestres utilizadas en la planificación, administración y gobernanza del océano (Teo, 2023).

En esencia, el océano profundo representa un mundo aparte, caracterizado por su inmensa extensión y volumen, que desafían nuestras nociones convencionales de manejo. La naturaleza multifacética y dinámica de este dominio submarino requiere una reevaluación de cómo abordamos su estudio, gestión y conservación. Este cambio de perspectiva es crucial para comprender las complejidades del ecosistema del océano profundo y desarrollar estrategias efectivas para su preservación y uso sostenible en una época en la que se reconoce cada vez más la importancia de esta frontera.

La investigación marina en Costa Rica ha experimentado una evolución histórica a lo largo del tiempo (Cortés, 2009). Durante el siglo XIX, se iniciaron los estudios del océano en el país, los cuales estuvieron mayormente a cargo de científicos extranjeros. Estos investigadores llevaron a cabo sus estudios de manera independiente, sin colaborar con científicos locales ni considerar los intereses de la comunidad costarricense en la recolección de especímenes. En una fase más reciente, la investigación marina comenzó a involucrar activamente tanto a científicos costarricenses como a científicos extranjeros residentes. Se establecieron colaboraciones y proyectos conjuntos con instituciones tanto locales como extranjeras, marcando un hito importante en el desarrollo de la investigación marina en Costa Rica.

En términos de entender la biodiversidad, desde principios del siglo XIX y hasta principios del siglo XX, hubo dos fuentes de organismos marinos para registros taxonómicos y estudios asociados. La primera fuente provino de capitanes de barcos, recolectores profesionales y científicos costarricenses que enviaban especímenes a especialistas extranjeros, y la segunda fuente fue de organismos recolectados durante expediciones oceanográficas. Las primeras expediciones organizadas con el único propósito de explorar científicamente los océanos del planeta comenzaron a inicios del siglo XIX. Hacia finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, Estados Unidos organizó una serie de expediciones científicas marinas, especialmente

a los océanos Atlántico y Pacífico Oriental. Durante estas expediciones, se recolectó una gran cantidad de información oceanográfica y biológica, cuyas descripciones se publicaron durante las décadas siguientes. Esta es la primera fase de investigaciones científicas del océano en Costa Rica.

La segunda etapa de investigación se extiende de 1924 a la década de 1980. Fue una época de intenso muestreo, especialmente en el Pacífico Oriental, por parte de científicos extranjeros y sin involucramiento de nacionales. Esas expediciones fueron organizadas tanto por instituciones como por individuos y la mayoría de ellas fueron financiadas por filántropos. Las publicaciones resultantes de esas expediciones siguen apareciendo hasta el día de hoy, principalmente en el ámbito taxonómico.

La tercera fase de investigación marina se inicia en la década de 1980 y continúa hasta el presente. A partir de esas fechas aparecen los primeros trabajos de científicos costarricenses como también de científicos extranjeros residentes. Además, se empiezan a desarrollar proyectos de colaboración con científicos e instituciones extranjeras, pero aún hay algunas investigaciones y expediciones sin participación nacional. En esta etapa se inician estudios más detallados de las regiones profundas de Costa Rica.

El concepto de océano profundo se refiere a las aguas y el lecho marino que están por debajo de los 200 metros de profundidad. Tanto a nivel nacional como internacional, cada vez es más común que se nombre el océano profundo en los espacios de toma de decisión y gobernanza, sea para promover acciones para su conservación o para elevar intereses de exploración y prospección de los recursos que se encuentran en este ambiente. Un abordaje integral y multidisciplinario, permite obtener mejores respuestas para enriquecer nuestro conocimiento sobre el bioma más grande del planeta. Los insumos recabados a través de las investigaciones marinas científicas de enfoque colaborativo deben ser la base para la elaboración de políticas públicas y normativas de manera que, a través de una fundamentación sólida, se garantice una aplicabilidad efectiva a largo plazo.

La comunidad científica global se encuentra actualmente en un proceso de reflexión y revisión de sus prácticas existentes, algunas de las cuales están fundamentadas en percepciones coloniales y neo-coloniales (Spalding *et al.* 2023). Este análisis es especialmente relevante en el contexto de la comunidad de investigación del océano profundo, donde se han observado colaboraciones internacionales desiguales en el pasado. Un ejemplo de este cambio en el paradigma de involucramiento científico, hacia uno más equitativo y justo, se ve reflejado en el desarrollo de la investigación *Octopus Odyssey*, la cual se presenta en este manuscrito.

II. EXPLORANDO LOS TESOROS DEL OCÉANO PROFUNDO

Una investigación con enfoque holístico

Hacia el suroeste de la península de Nicoya, a unos 200 km mar adentro, y a más de 3000 m de profundidad, existe una serie de colinas submarinas de diversos tamaños. Estos lugares profundos han sido poco explorados (Figura 1). El sitio Dorado (nombre no oficial), es uno de los más conocidos, ya que, durante una expedición oceanográfica en el 2013, se documentó por primera vez una agregación de pulpos asociada a fuentes hidrotermales de baja temperatura que emanan de esta colina. Este primer

hallazgo motivó a un grupo de investigadores internacionales y nacionales a regresar a este sitio para realizar estudios a detalle y con la finalidad de entender la asociación biológica, geológica, física y microbiológica en este sector. La expedición *Octopus Odyssey*, del Schmidt Ocean Institute, se realizó durante junio 2023. Este tipo de proyectos colaborativos tienen un papel fundamental para un país como Costa Rica, permitiendo un mayor conocimiento de su vasta extensión marina, la cual es diez veces más grande que la extensión terrestre.

Dada la capacidad limitada de algunos países para acceder a las aguas profundas (Bell *et al.* 2023), la colaboración internacional es esencial para que naciones como Costa Rica, puedan empoderarse del patrimonio ubicado en sus Zonas Económicas Exclusivas (ZEE). También resulta clave la participación de científicos y estudiantes de estos países para incrementar su comprensión y divulgar los tesoros que yacen en el océano profundo.

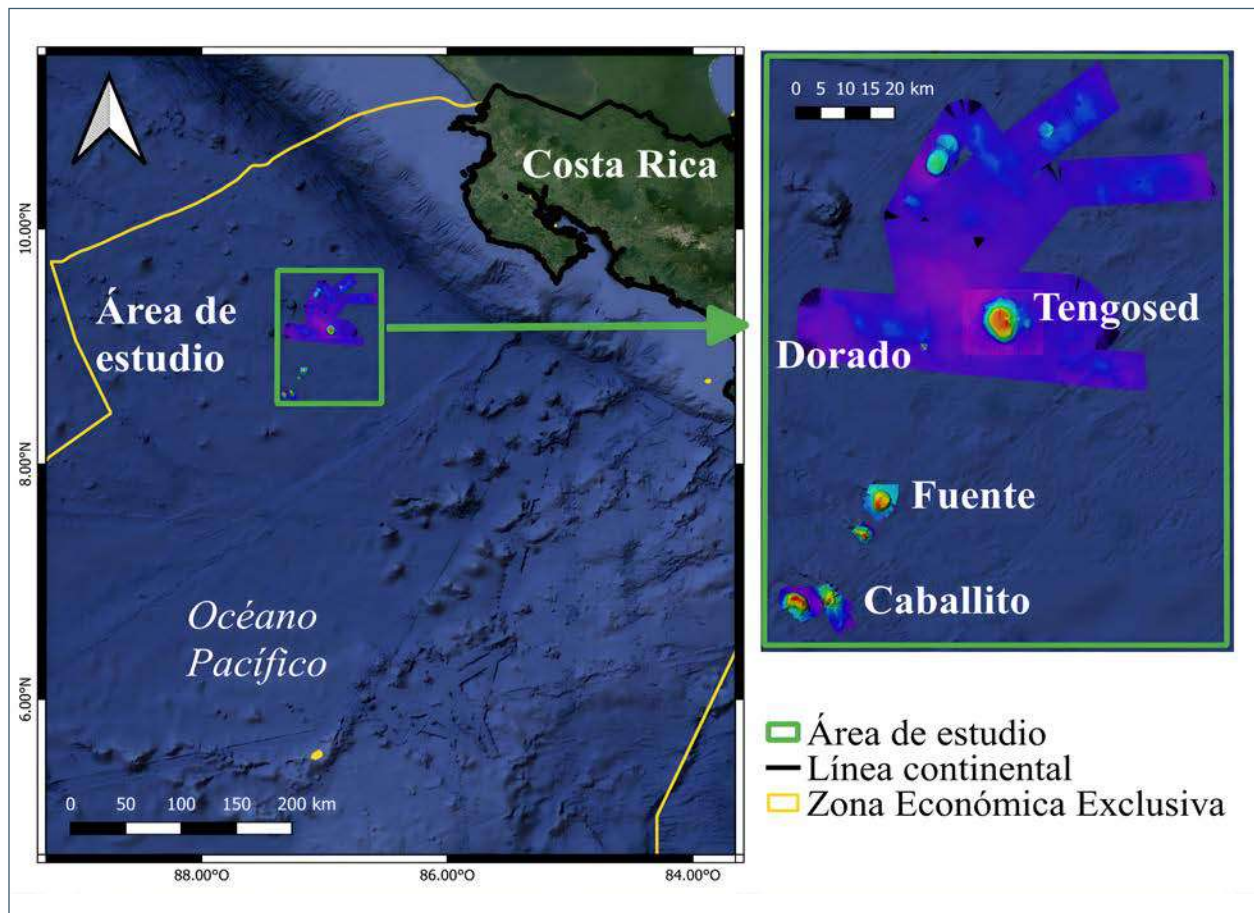


Figura 1: Ubicación del área de estudio de la expedición *Octopus Odyssey*.

El buque de investigación R/V *Falkor (too)* y logística asociada fueron proporcionados por el Schmidt Ocean Institute (Figura 2), una entidad dedicada a facilitar la exploración de las aguas profundas, su divulgación y el desarrollo de capacidades de investigación en países que no cuentan con barcos de investigación.



Figura 2. Buque oceanográfico *Falkor (too)* y vehículo de operación remota *SuBastian*.

Para la expedición que se realizó en junio de 2023, se conformó un equipo científico interdisciplinario de 20 participantes, mayoritariamente femenino, conformado por expertos en el ámbito de la biología, geología, geofísica, oceanografía y microbiología de universidades costarricenses (Universidad de Costa Rica y Universidad Nacional) y de países como Estados Unidos, Portugal, Canadá, entre otros. Adicionalmente, *Octopus Odyssey* incluyó la participación de dos artistas, cuyo rol fue plasmar la investigación científica en arte visual como una nueva forma de comunicación. El arte y la ciencia trabajaron en conjunto, complementándose para ofrecer una perspectiva única de nuestro planeta desde distintos ángulos, en aras de comprenderlo mejor, divulgarlo y protegerlo.

La expedición, co-liderada por el doctor Jorge Cortés Núñez de la Universidad de Costa Rica y la doctora Beth Orcutt del Bigelow Laboratory for Ocean Sciences, promovió una colaboración estrecha entre los participantes, permitiendo que aproximadamente la mitad del equipo fuera de origen local. La operación diaria del barco de investigación suele superar los 50,000 dólares, por lo que SOI aportó un millón de dólares. Los colaboradores internacionales contribuyeron con 20,000 dólares para apoyar a los científicos costarricenses en estipendios, costos de capacitación y logística local. Se movilizaron 60,000 dólares para traer a expertos internacionales a Costa Rica, quienes colaboraron con los científicos locales y proporcionaron herramientas y suministros para la investigación. En el próximo año, se espera movilizar un adicional de 50,000 dólares de fuentes filantrópicas para respaldar la investigación de los científicos costarricenses. Resaltamos estos costos para subrayar el compromiso de nuestros colaboradores internacionales en compartir el acceso y los beneficios derivados de la exploración del singular lecho marino de Costa Rica.



Figura 3. Equipo de investigación y operaciones de la expedición *Octopus Odyssey*.

Cabe resaltar que, históricamente, la presencia y liderazgo femenino en expediciones oceanográficas ha sido limitada. En esta expedición la mayoría del equipo de investigación estuvo conformado por mujeres (14 de 20), lo cual marcó un avance significativo en la igualdad de género, especialmente para las científicas jóvenes. Este enfoque no solo resultó en avances científicos sustantivos, sino también en un aporte importante hacia la igualdad de género y la colaboración interdisciplinaria en el campo científico, abriendo nuevas posibilidades para futuras investigaciones y enriqueciendo la comunidad científica. En cifras, el 37% del equipo científico fue compuesto por costarricenses, con un 10.5% adicional de personas provenientes de América Latina y el Caribe, al cual también se unen artistas locales y extranjeros, con un total de 47.6% de personas que hablan español con fluidez (Figura 3).

Antecedentes y contexto

Investigaciones previas en esta zona se dieron desde inicios del 2000, a raíz de programas como el *International Ocean Drilling Program* (IODP) y el proyecto TicoFlux. A raíz de ese mapeo inicial, se comenzó a explorar el área con el fin de encontrar evidencia de emanación de fluidos hidrotermales, algo que se había deducido de mediciones de temperatura pero que aún no se había observado hasta las visitas más recientes en 2013 (Wheat & Fisher, 2008; Hartwell *et al.* 2018; Wheat *et al.* 2019).

Durante la exploración del pequeño afloramiento rocoso llamado Dorado se pudo comprobar el tamaño de la estructura, similar a una cancha de fútbol, ~0.5 km de ancho × ~2 km largo y unos 150 metros de elevación. En ese entonces los investigadores se sorprendieron al encontrar pulpos de aguas profundas incubando huevos en las fracturas de las rocas por donde emanan los fluidos desde el fondo marino. Aunque los fluidos estaban ligeramente calientes (alrededor de 12 °C en comparación con los 2 °C del agua circundante), aún contenían oxígeno. En este punto se planteó la pregunta de si los fluidos más cálidos brindan ventajas al desarrollo de los huevos, a pesar de la posible dificultad respiratoria debido a las condiciones.

En esta expedición, el equipo *Octopus Odyssey* regresó al afloramiento Dorado con el propósito de responder a esta pregunta y para comprender en mayor detalle el nexo entre los organismos del fondo marino, sus microbiomas, los microorganismos en el ambiente y su relación con los fluidos, rocas y sedimentos circundantes (Figura 4).

Además, el equipo exploró otros montes submarinos en la región en busca de campos hidrotermales de baja temperatura, y para determinar cuál es la variable que determina la presencia y el comportamiento de los pulpos. La posibilidad de que los pulpos están restringidos al afloramiento Dorado se plantea como una característica que implica algún grado de protección.

Durante la expedición, el equipo llevó a cabo un análisis exhaustivo de las comunidades microbianas en los montes submarinos. Parte de esta investigación se centró en determinar si los microbios son esenciales para la salud de los pulpos y otros animales que viven en estos sitios. Además, se examinaron las interacciones entre microbios y la concentración de metales en estos ecosistemas de aguas profundas, con el objetivo de identificar posibles umbrales de toxicidad y daño serio para el ecosistema. Este componente de la investigación fue impulsado por la necesidad de comprender las implicaciones de actividades propuestas principalmente en aguas internacionales, como la minería en aguas profundas y el secuestro

de carbono en el lecho marino. Además, se recolectaron núcleos de sedimentos y macroorganismos para su posterior estudio, junto con sus respectivos microbiomas. Se estudiaron las comunidades bentónicas para evaluar su distribución e importancia en estos ecosistemas profundos.

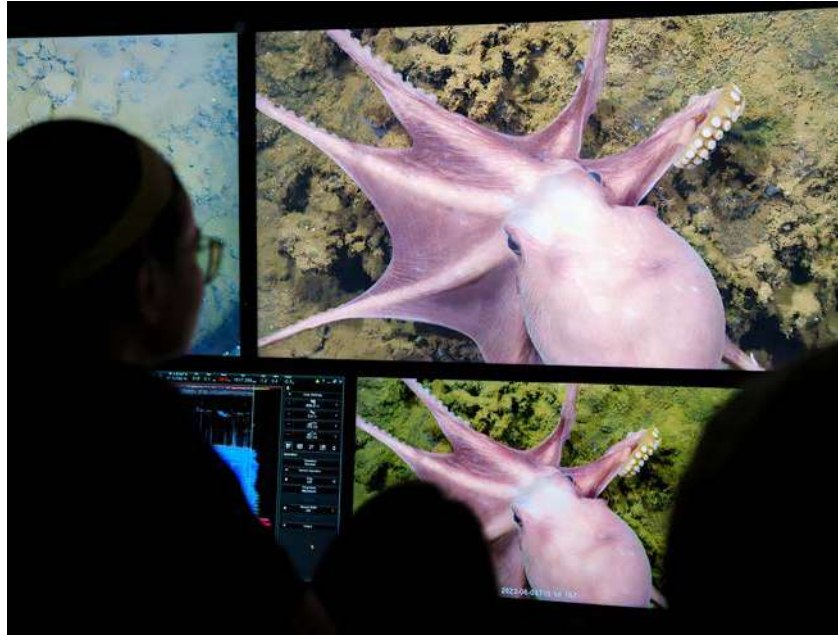


Figura 4. Primer avistamiento de pulpos en el cuarto de control de *SuBastian*.

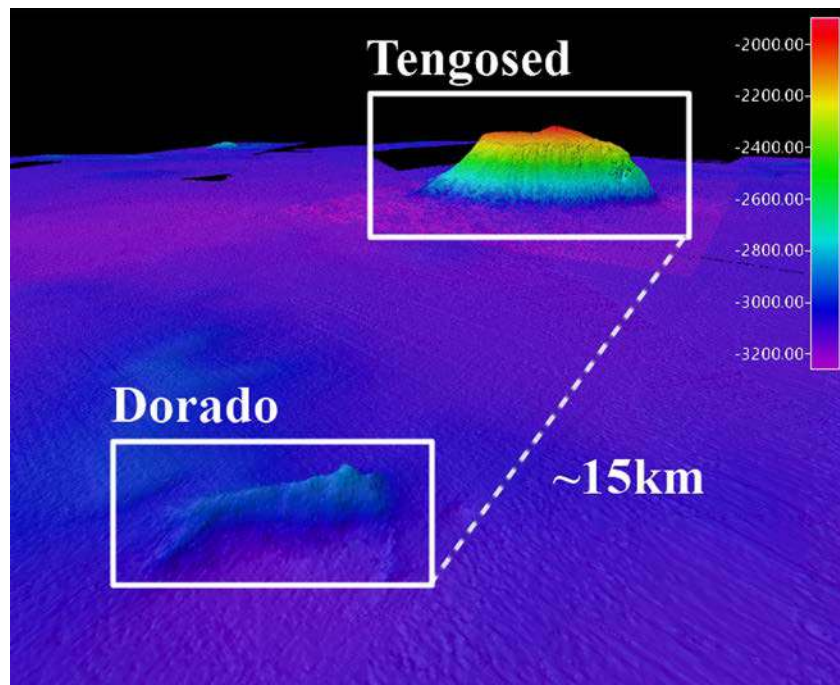


Figura 5. Visualización batimétrica de los sitios Dorado y Tengosed.

El grupo de investigación reconoce la importancia de compartir el acceso y los beneficios relacionados con el estudio de los recursos genéticos marinos. En este sentido, se obtuvieron todos los permisos necesarios y todos los especímenes animales recolectados se están archivando en nuestro país y no en el extranjero.

En total se realizaron 14 inmersiones con el vehículo de operación remota (ROV) SuBastian para explorar seis sitios que mostraban elevaciones batimétricas del lecho marino, cinco de las cuales eran inexploradas (Figura 5). Entre ellas, Dorado, Tengosed, Fuente y Caballito son algunas de las que tienen nombres establecidos; sin embargo, ninguna de ellas ha sido designada oficialmente en *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO), lo cual planteamos como un eje de la discusión sobre las grandes oportunidades habilitadas por este tipo de proyectos. Así mismo, vale la pena mencionar que durante las faenas de investigación se registró actividad pesquera asociada a esta zona, especialmente en el sitio conocido como Fuente que se superpone parcialmente con una zona denominada el “*Guardian Bank*”, un área común de pesca de palangre y que se plantea como otro desafío a nivel de gobernanza marina.

Principales hallazgos en hidrogeología y geología

El equipo científico incluyó personas con especialidades en diferentes ramas de la ciencia, permitiendo conocer con detalle el componente abiótico. A nivel de hidrogeología, se centraron esfuerzos en analizar la dinámica subyacente en el lecho marino para comprender los movimientos de los fluidos en la corteza oceánica, que posiblemente propician las condiciones óptimas para la cría de los pulpos en estudio.

Para entender estos enfoques de investigación, es primordial comprender la composición del lecho marino. La formación de corteza nueva en dorsales oceánicas implica la salida de lava del manto oceánico, que se enfría rápidamente, resultando en rocas en forma de almohadilla. Estas lavas en almohadillas o “*pillows lavas*” conforman la capa superior de la corteza oceánica, y los espacios o fracturas entre ellas contribuyen a su alta permeabilidad. A medida que la corteza envejece, los sedimentos se acumulan en su superficie, formando una capa aislante que retiene calor y restringe el flujo de agua dentro y fuera de la corteza. En este sentido, los montes submarinos y otras estructuras rocosas permiten el flujo de agua a través de la corteza, generando circulación hidrotermal. La corteza oceánica de composición basáltica en este sector tiene una edad de 18-24 millones de años (Fisher *et al.*, 2003), y se considera proveniente de la dorsal del Pacífico Oriental.

Esta investigación marcó importantes avances en el campo de la hidrogeología regional. Logramos verificar con éxito la existencia de descargas hidrotermales de baja temperatura en Tengosed, lo que concuerda con el proceso de recarga y descarga acuífera en montes submarinos. Este fenómeno había sido predicho previamente por modelos matemáticos, pero nunca antes confirmado. Además, en un área sin nombre al este de Caballito, también se confirmó la presencia de descarga de baja temperatura. Asimismo, hemos documentado un flujo de calor en la zona circundante a Caballito, lo que sugiere que este sitio también es un área de recarga. Parte de los principales aspectos a confirmar con este tipo de investigaciones es que este sistema interno de la corteza, junto con los puntos de entrada y salida de agua, crea condiciones favorables no solamente para sitios de crianza de pulpos, sino también para otras especies como rayas y tiburones.

La metodología de muestreo a nivel geofísico implicó el uso de una sonda de flujo de calor para medir temperaturas en sedimentos marinos (*heatflow probe*), la cual se desplegó con la ayuda del ROV SuBastian. El agua cercana al lecho marino es fría (2 °C), pero al fluir por la corteza se calienta y se libera en otra zona del lecho a mayor temperatura (12 °C). Las mediciones revelaron patrones de flujo: temperaturas bajas indican entrada de agua en la corteza; temperaturas altas, su salida. Las propiedades físicas de las masas de agua interactúan con el relieve, dando paso a una dinámica de intercambio de calor conocida como el sifón hidrotermal (Lauer *et al.* 2018).



Figura 6. Características de interés geológico en el fondo marino y vista microscópica de un radiolario fósil (*Stichocorys delmontensis*), característico del Mioceno Superior.

La exploración realizada reveló características geológicas no antes descritas para esta zona. De manera preliminar, se estudió y analizó la geología en este sector, por medio de imágenes y muestras obtenidas. Se descubrió que el lecho marino en el área de estudio consiste en colinas submarinas de composición basáltica en asociación con rocas sedimentarias blanquecinas finas de composición calcáreo-silíceo con microfósiles de foraminíferos, nanofósiles calcáreos y radiolarios, intercalados con lutitas oscuras, ambas de millones de años de antigüedad (Mioceno Superior: 11 hasta 5 millones). En la planicie abisal afloran sedimentos pelágicos recientes. Además, se observa una alta disolución de las rocas carbonatadas, mostrando inclusive conductos generados por el paso de fluidos. Se recolectaron muestras de estos sedimentos para indagar sobre sus orígenes e historias (Figura 6).

Oceanografía de la columna de agua

Uno de los objetivos secundarios de la expedición fue comprender la dinámica de la columna de agua que cubre los sitios de estudio. Mediante la integración de la hidrografía y la oceanografía física, se analizaron corrientes marinas y la distribución de factores cruciales como oxígeno, temperatura y salinidad. Estos datos proporcionan conocimientos esenciales para comprender la interconexión física entre las masas de agua en la región examinada, y al mismo tiempo, nos brindan información valiosa sobre la conectividad biológica.

En esta expedición, combinamos observaciones del lecho marino realizadas con el ROV SuBastian, con datos de instrumentos como el perfilador vertical *CTD* (Conductivity, Temperature, Depth), sistemas de ecosonda sonar EK80 y correntómetros acústicos tipo *ADCP* (Acoustic Doppler Current Profiler). Observamos principalmente la presencia de masas de agua ecuatoriales del sur, una circulación anticiclónica no registrada previamente para esta zona, y una capa de mínimo oxígeno con su núcleo en 500 metros de profundidad.

Para entender la conectividad en el Pacífico costarricense, es crucial considerar la dinámica en la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, ubicada en la región Norte del Pacífico Tropical Oriental. Las corrientes clave que influyen son la Contracorriente Ecuatorial Norte (NECC) de oeste a este, y la Corriente Costera de Costa Rica (CRCC) que sigue la costa en dirección sureste-noroeste.

Un elemento de particular interés en nuestra zona de estudio es la influencia que tiene el Domo Térmico de Costa Rica (el Domo) en la distribución de las comunidades pelágicas y bentónicas. Se conoce que estas aguas albergan una gran cantidad de biomasa planctónica (Gutierrez-Bravo *et al.* 2023, en prensa), compuesta mayormente por organismos que se desplazan en la columna de agua. Esta distribución vertical está relacionada con otra prioridad de estudio del proyecto, la Zona de Mínimo Oxígeno (OMZ), una capa de agua que se encuentra entre los 300 y 800 metros de profundidad (Figura 7), donde las concentraciones de oxígeno disminuyen drásticamente debido a la respiración y actividad metabólica de los microorganismos que viven en el agua de mar y degradan la materia orgánica que se hunde desde la superficie (ej. heces, animales muertos).

Se hicieron muestreos en ubicaciones estratégicas para obtener una imagen completa de la distribución de los parámetros oceanográficos en superficie y en el fondo marino. Estos datos nos ayudarán a demostrar la importancia de establecer conexiones entre la superficie y las profundidades marinas. Aunque

esperamos responder muchas preguntas con los datos recopilados, también reconocemos que este proceso genera nuevas incógnitas respecto a la dinámica del océano en la ZEE de Costa Rica y la conectividad con el resto del Pacífico Tropical Oriental.

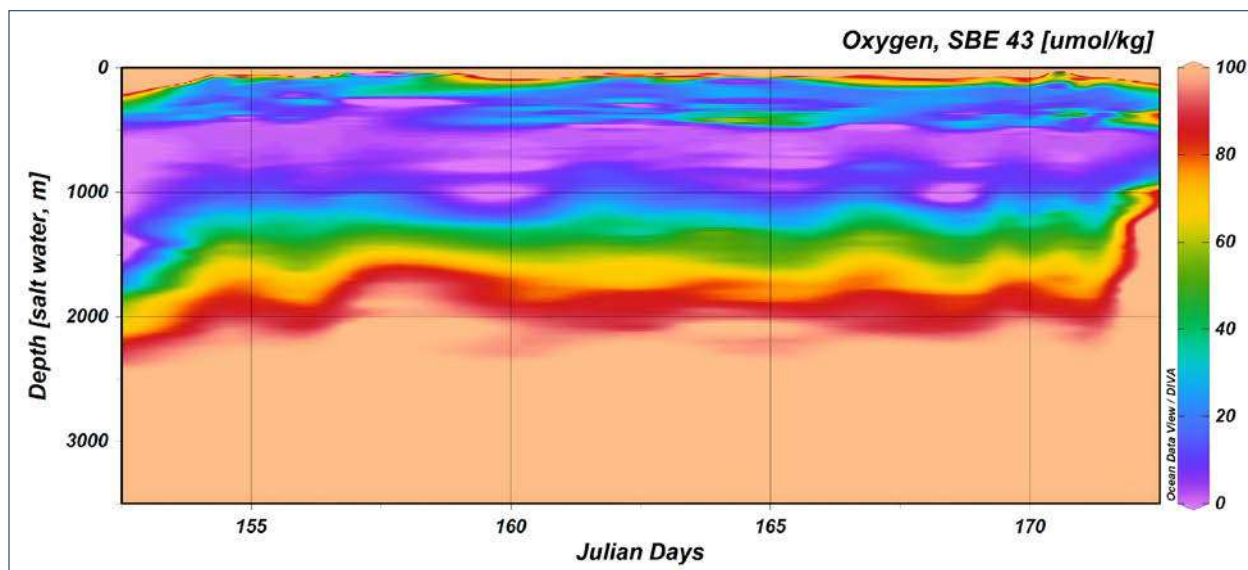


Figura 7. Serie de tiempo de mediciones de oxígeno disuelto ($\mu\text{mol/Kg}$) en la columna de agua a partir de las 12 estaciones de perfil vertical CTD. Eje vertical profundidad, eje horizontal días del año.

Conociendo las comunidades biológicas y explorando los microbiomas del océano profundo

Durante esta expedición, emprendimos un profundo estudio del montículo Dorado y otras elevaciones submarinas cercanas, empleando la avanzada tecnología del ROV SuBastian para llegar a un nivel de detalle microscópico. Obtuvimos muestras necesarias para una comprensión de las especies de microorganismos presentes y de los microbiomas que permiten a los pulpos prosperar en ambientes extremos (Figura 8).

Los microbiomas son la comunidad de microorganismos que viven en asociación con un animal, puede variar dependiendo de la especie, hábitat y estado de desarrollo del animal hospedero. En el caso de animales marinos, como los pulpos, se cree que el tipo de microorganismos que conforman el microbioma del animal son de gran importancia, ya que podrían influenciar condiciones como la salud, la ecología, fisiología, comportamiento del animal y su capacidad de adaptación (Apprill, 2017). Además, algunos grupos de bacterias podrían tener roles claves en el desarrollo de las crías de pulpos, al protegerlos de infecciones provocadas por otras bacterias u hongos.

El microbioma de los huevos podría originarse desde la puesta, donde microorganismos de las glándulas que producen la capa protectora de los huevos, se adhieren a las cápsulas en formación (Lutz *et al.* 2019). También, la composición microbiana de los huevos podría ser influenciada por el entorno, ya que ciertos grupos bacterianos del agua circundante o del lecho marino podrían unirse a las cápsulas y colonizar su superficie (Iehata *et al.* 2016).

La aplicación de la tecnología de vanguardia del ROV SuBastian permitió la captura precisa de imágenes y muestras esenciales para el estudio detallado de pulpos y otras formas de vida marina, sin perturbar los frágiles ecosistemas. Estas muestras se sometieron a un análisis exhaustivo, lo que facilitó la identificación precisa de especies, la exploración de microbiomas asociados y la obtención de datos significativos sobre la biología reproductiva y el desarrollo de pulpos de aguas profundas.

Nuestros descubrimientos poseen un destacado valor al confirmar que el sitio “Dorado”, efectivamente actúa como un lugar de crianza para los pulpos, donde especies del género *Muusoctopus* incuban exitosamente huevos en fluidos hidrotermales de baja temperatura, a unos 12°C. Estos hallazgos contradicen una hipótesis previa que se planteó en 2018 y ponía en duda la viabilidad de los huevos en esta región (Hartwell *et al.* 2018).



Figura 8. Perspectiva panorámica de la guardería de pulpos de una especie no descrita del género *Muusoctopus* en Dorado.

Además, se identificó un segundo sitio de emisiones hidrotermales de baja temperatura (7°C) en el cual los pulpos también estaban resguardando sus huevos viables; este lugar es un afloramiento sin nombre que exploramos por primera vez en esta expedición y que se pretende sea un sitio ejemplar de conservación y manejo basado en ciencia.

Este constituye el cuarto caso conocido de guardería de pulpos en aguas profundas a nivel mundial, y el segundo en Costa Rica. El otro sitio se encuentra en California (Davidson Seamount) y en Canadá. En las inmersiones del ROV, se presenciaron las primeras etapas de vida de los pulpos de la especie *Muusoctopus* al eclosionar sus huevos. También observamos la respuesta rápida de depredadores como camarones y anguilas degolladoras, ante los huevos de pulpo desprotegidos, así como los consistentes comportamientos de protección por las madres. Cabe recalcar que solamente la especie de pulpo *Muusoctopus* mostró el

comportamiento de incubación de huevos en aguas más cálidas, ya que la otra especie de pulpo observada, del género *Graneledone*, no exhibió este comportamiento.

Durante la expedición, se reportó una gran diversidad de especies, a las cuales se les asignó una anotación en el sistema digital para ser identificadas taxonómicamente. Así mismo, los comportamientos e interacciones fueron grabados en formato de alta resolución 4K y se encuentran disponibles para investigación y comunicación.

Adicionalmente, nuestra exploración también reveló la existencia de una guardería de Raya Blanca del Pacífico (*Bathyraja spinosissima*) en la cima del monte submarino Tengosed (Figura 9), confirmada mediante la recolecta y disección de una cápsula de huevo que se consideró viable por la presencia de un embrión en etapas tempranas de desarrollo. Esta especie es reconocida como una de las rayas de mayor profundidad y que se ha registrado previamente depositando sus cápsulas de huevo en zonas de descarga hidrotermal en Islas Galápagos (Salinas de León. *et al.* 2018). No obstante, en el sitio donde encontramos la alta densidad de cápsulas de huevo no se registró actividad hidrotermal. Si bien con los datos recolectados no se puede entender completamente la relación, se plantea la hipótesis de que las rayas están asociadas a sitios que particularmente muestran comportamiento hidrotermal intermitente.

Esta primera expedición del *Octopus Odyssey* ha enriquecido nuestra comprensión de la diversidad y las interacciones que caracterizan a los océanos. Los resultados de nuestra investigación han aportado de manera significativa al avance del conocimiento en este campo. La totalidad de los más de 150 organismos encontrados fueron depositados en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (MZUCR), parte del Centro de Investigación en Biodiversidad y Ecología Tropical. La mayor cantidad de organismos recolectados fueron corales dentro de los que destacan los octocorales (corales de ocho tentáculos) y los corales negros (Figura 10), organismos fundadores en estos ecosistemas.

Además, se tomaron muestras de otros organismos como equinodermos, siendo el segundo grupo más recolectado. También se cuentan con especímenes como pulpos, crustáceos, esponjas, anélidos, hidrozoarios entre otros. El mayor número de muestras se recolectó en el sitio “Dorado”, seguido del sitio sin nombre al este de Caballito. La mayoría de estos organismos aún no han sido identificados a nivel de especie. Por lo tanto, estudios taxonómicos futuros representan una excelente oportunidad para fomentar colaboraciones a nivel nacional e internacional. Estas colaboraciones tienen el potencial de impulsar el desarrollo de capacidades en investigadores emergentes y de enriquecer la elaboración de tesis universitarias relacionadas al océano profundo, en colaboración con el MZUCR.

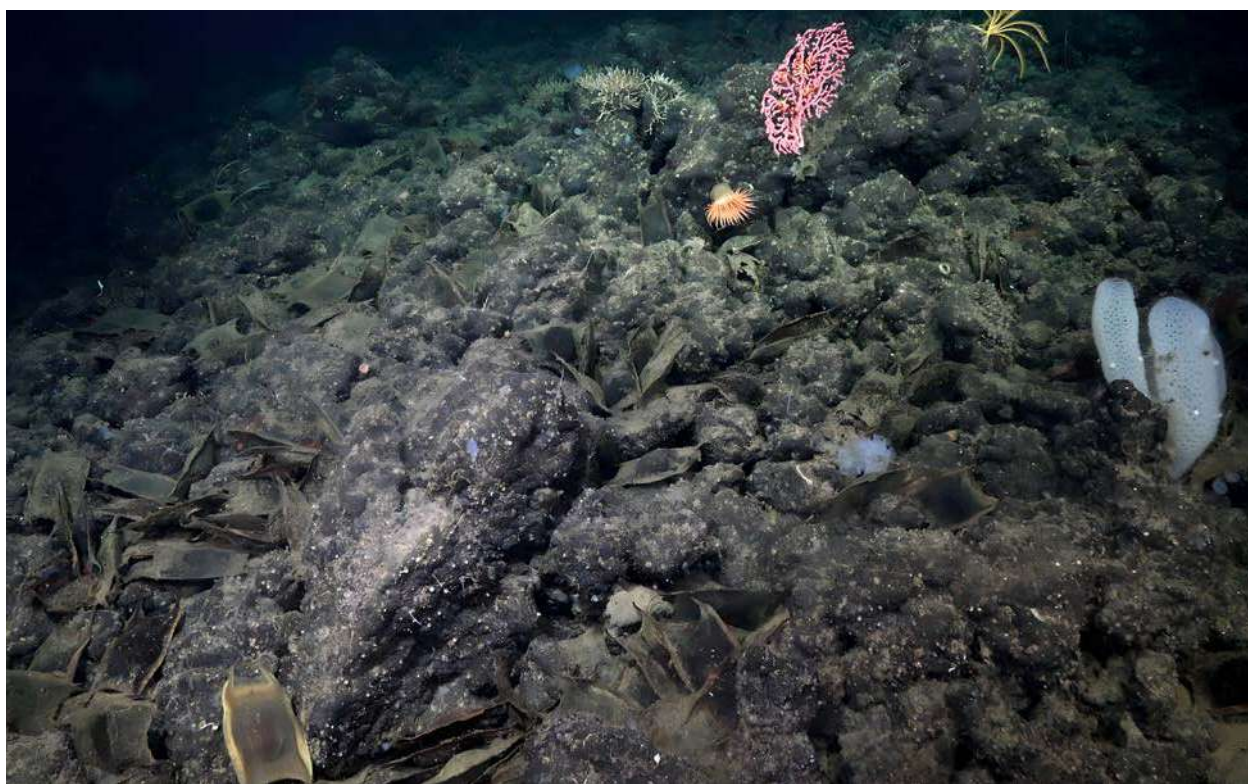


Figura 9. Sitio con alta densidad de cápsulas de huevos de raya de la especie *Bathyraja spinosissima* e investigadoras haciendo la disección de la cápsula en el laboratorio.

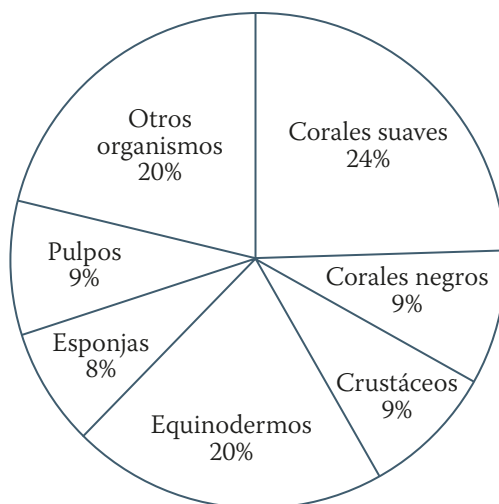


Figura 10. Distribución porcentual de organismos recolectados según grupo taxonómico durante la expedición *Octopus Odyssey*.

Una de las prioridades del proyecto *Octopus Odyssey* es fomentar un análisis colaborativo que permita extraer la máxima cantidad de información de los videos registrados por el ROV SuBastian. El uso de videos ha demostrado ser una herramienta invaluable para afrontar el desafío de investigar el océano profundo. Al capturar comportamientos, interacciones y rasgos característicos del hábitat, los videos proporcionan una ventana única para estudiar estos entornos inaccesibles, aportando datos cuantitativos directamente extraídos de su análisis y complementando la información recopilada por otros instrumentos. Asimismo, los videos potencian la comprensión cualitativa de la vida marina en estas profundidades.

Herramientas tecnológicas, como las plataformas basadas en la nube, revolucionan la colaboración en el análisis de videos al facilitar la identificación de organismos, estructuras geológicas y eventos clave. Esta capacidad de colaboración digital amplifica significativamente la cantidad de información extraída de los videos, abriendo nuevas perspectivas para el estudio y conservación del océano profundo. La base de datos resultante no solo permite la identificación de especies o grupos de organismos, sino también el análisis de hábitats y posibles cambios a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se convierte en una herramienta esencial para el entrenamiento de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático, impulsando la innovación y la eficiencia en la investigación del océano profundo y, por ende, fortaleciendo la capacidad del país para tomar decisiones informadas en este ámbito.

III. COMUNICACIÓN, CONCIENCIA Y EDUCACIÓN

En un mundo donde la población cuenta con capacidades reducidas de acceso directo a estos entornos, los videos se convierten en un poderoso instrumento de comunicación como ventanas al océano profundo. Estas imágenes no solo despiertan el asombro, sino que también generan un fuerte impacto emocional en el público general, impulsando la sensibilización sobre la importancia de conservar estos ecosistemas únicos. Dado que las personas están cada vez más inmersas en el mundo digital, es fundamental

aprovechar esta tendencia para educar sobre la importancia del océano profundo y su vulnerabilidad. En este sentido, la expedición Octopus Odyssey a través de su estrategia de comunicación, ha logrado acumular más de 12 millones de vistas en redes sociales, generando aproximadamente 4 millones de interacciones y 725 notas periodísticas en 45 países.

El alcance en redes a través de videos conlleva a pensar que la integración de tecnologías de vanguardia, como la realidad virtual y la realidad aumentada, puede brindar experiencias inmersivas que acerquen al público general a los misterios y desafíos del océano profundo, especialmente la niñez y juventud. Estas herramientas tecnológicas pueden transformar la educación en una experiencia envolvente, fomentando una conexión profunda y duradera con los océanos y su conservación.

Buscando este propósito, durante el desarrollo de la expedición se realizaron visitas guiadas virtuales tipo “tour” con diversas audiencias a través de una metodología barco-a-costa (*ship-to-shore*), permitiendo construir un intercambio interactivo de telepresencia con el público general. Se realizaron 10 interacciones de este tipo, 7 de ellas en español y en total se involucraron aproximadamente 800 personas, principalmente escuelas y colegios.

Es crucial diseñar programas educativos inclusivos que promuevan la comprensión de la interconexión entre los ecosistemas marinos profundos y nuestro estilo de vida cotidiano. En última instancia, la educación y la comunicación efectiva son pilares fundamentales para garantizar la protección y preservación a largo plazo del océano profundo y sus invaluable recursos. Es a través de la evidencia, la exploración e investigación, que surgen los argumentos para respaldar la necesidad del involucramiento activo de la sociedad en la gestión del océano y los recursos marinos, particularmente el océano profundo.

A nivel global, muchas de las zonas del océano profundo que están dentro de la jurisdicción de los países, cuentan con un alto grado de conectividad entre ellas y con regiones ubicadas en aguas internacionales (*ABNJ*, Areas Beyond National Jurisdiction). Desde una perspectiva de gobernanza, el océano abierto implica un desafío para Costa Rica pues convergen tres esquemas de gobernanza tradicional, las aguas jurisdiccionales, la relación bilateral transfronteriza con países hermanos como Colombia, Ecuador, Nicaragua, Panamá y la relación intrínseca del medio marino con las aguas internacionales. Si bien es un desafío, consideramos que el enfoque basado en ciencia es óptimo para guiar las decisiones de manejo, ya que no está limitado por fronteras imaginarias y así mismo incorpora el principio precautorio de manera pragmática. Por lo tanto, nos llama a explorar más a fondo, el vínculo existente entre la investigación marina, la política nacional, mundial y la sociedad civil.

IV. EL ROL DE LA INVESTIGACIÓN DEL OCÉANO EN EL DESARROLLO DE POLÍTICAS MARINAS

Los argumentos expuestos anteriormente nos llevan a otra perspectiva, la del progreso del paradigma diplomático, donde la investigación debe incorporarse al contexto de toma de decisiones, como el concepto de diplomacia científica. El objetivo es comunicar ampliamente los resultados de investigaciones y el avance en el conocimiento de los recursos naturales que allí existen, comunicando desde la investigación para crear conciencia y promover la formulación de criterios en cuanto a decisiones futuras de manejo del recurso marino.

En materia de derecho ambiental, la elaboración de normativas y política pública debe ir estrechamente vinculada a la mejor información científica disponible, de manera que se garanticen procesos de toma de decisión fundamentados y respetando el principio de objetivación (aplicación de la ciencia y técnica). El océano profundo es un ambiente de mínima exploración, pero de gran importancia para la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos. Se trata, además, de un sitio con características únicas que influyen considerablemente en su fragilidad y altos niveles de vulnerabilidad a los impactos antropogénicos.

Son precisamente estas características las que demandan la implementación de políticas basadas en ciencia que garanticen la conservación y gestión efectiva del océano profundo de Costa Rica, reconociendo la importancia de integrarse efectivamente con instrumentos de gobernanza marina internacionales. El involucramiento de un equipo multidisciplinario como el que participó en esta expedición brinda una perspectiva integral sobre los diferentes elementos que deben ser considerados al momento de generar iniciativas dirigidas a este fin. Asimismo, el conocimiento científico obtenido sobre las aguas profundas costarricenses, otorga una oportunidad de contribuir a la consolidación de una posición país tanto en la definición de la línea política a nivel nacional en torno al océano profundo y sus recursos, así como en foros internacionales donde promueva situar al océano profundo como un ambiente merecedor de medidas que aseguren la protección de sus ecosistemas y la aplicación del principio precautorio ante la ausencia de información sobre el impacto que puedan tener las actividades extractivas en estos ambientes, tal como en las negociaciones de *BBNJ* (Biodiversity Beyond National Jurisdiction) o *ISA* (International Seabed Authority).

El océano abierto es dinámico desde la superficie hasta el fondo, con un ritmo constante y turbulencia incesante. En este vasto ambiente, la interacción continua entre elementos vivos y no vivos crea una complejidad de infinitas posibilidades. La relación entre la superficie y la profundidad marina es un estudio en evolución constante, denominado acoplamiento pelágico bentónico, el cual estudia cómo la columna de agua influye sobre el fondo marino y viceversa. Este novedoso campo de la ciencia ofrece gran potencial para informar los procesos de gobernanza marina que logren responder a la conexión intrínseca del océano profundo.

La productividad del lecho marino no solo depende de su naturaleza geológica, sino también de las aguas circundantes. La zona es altamente productiva debido al Domo, un punto clave para pesquerías y gobernanza marina (Johnson *et al.* 2018). Este Domo influye en la columna de agua, facilitando un flujo significativo de nutrientes y materiales esenciales que impactan procesos en el fondo y profundidades intermedias. Estos procesos son fundamentales para la conectividad oceanográfica y genética en la región.

El territorio marino de Costa Rica constituye un escenario singular y excepcional para la investigación de áreas marinas complejas y dinámicas, especialmente en lo que respecta a los campos hidrotermales recientemente descubiertos. Estos ecosistemas no solo representan un enigma científico intrigante, sino que, basándonos en los resultados de la investigación, tienen un rol vital para las poblaciones de especies como pulpos, rayas y tiburones. Por lo tanto, se plantea este sitio como una gran oportunidad para implementar un esquema de gestión que permita la protección de los recursos y asegure la investigación como una prioridad, con el propósito de evaluar los servicios ecosistémicos de esta zona, tanto del lecho marino como de la columna de agua.

Basándonos en lo expuesto, identificamos dos modelos de gobernanza en esta zona que tienen relevancia con los hallazgos de nuestra investigación. El primero concierne al lecho marino, que está completamente bajo la jurisdicción del gobierno de Costa Rica. El segundo está relacionado con la columna de agua, que aunque depende de Costa Rica, está sujeta a instrumentos de gobernanza que abarcan varias Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) o áreas internacionales, como la Convención de Antigua (IATTC, 2003), las Áreas Marinas de Importancia Ecológica o Biológica (AIEB) (CBD, 2013) y, más recientemente, el tratado de aguas internacionales (UN, 2023). Por esta razón, proponemos considerar a Dorado como un sitio modelo que ofrece la posibilidad de integrar todos estos esquemas, posicionando a Costa Rica como referente en el ámbito de la gobernanza marina.

A la luz de los hallazgos de esta investigación, se identifica que estos sitios cumplen con los argumentos esenciales de singularidad, rol esencial en la supervivencia de poblaciones de especies sensibles con tasas de recuperación lentas y su alta productividad, lo cual implica una necesidad de parte del gobierno en asignar algún grado de protección, especialmente dado por la presencia de áreas de crianza de pulpos y rayas. Por ser especies de las cuales no se tienen muchos datos de su estado poblacional, este sitio exhibe características que lo categorizan como Ecosistema Marino Vulnerable (VME) o AIEB. Así mismo, al ser un área relativamente pequeña, la logística de gestión se facilita y ofrece la posibilidad de que se proteja un amplio volumen al incorporar toda la columna de agua.

V. CONCLUSIÓN Y REFLEXIONES FINALES

Costa Rica cuenta con un robusto ordenamiento jurídico en materia ambiental que brinda la oportunidad de implementar medidas de gestión basadas en áreas para garantizar la protección de ecosistemas marinos vulnerables de profundidad. Las áreas marinas protegidas (AMPs) son una figura que permite elevar la importancia que tiene un determinado ecosistema para la biodiversidad marina mediante la puesta en marcha de instrumentos que garantizan su conservación y uso sostenible de los recursos a largo plazo.

Partiendo de los hallazgos científicos de la expedición *Octopus Odyssey* en la cual se determinan sitios clave de montículos submarinos y filtraciones hidrotermales asociados a agregaciones de especies cuyas características de reproducción y crecimiento las vuelven altamente vulnerables y potencialmente endémicas al sitio que se encuentran, resulta esencial para el país tomar acciones que aseguren la conservación de esta biodiversidad marina, como puede ser a través del establecimiento de áreas marinas protegidas de profundidad. Independientemente de la categoría de manejo que se pudiera definir y los usos que esta permitiese, la creación de una AMP de profundidad posicionaría a Costa Rica como uno de los pocos países en tomar acciones de conservación específicamente dirigidas a estos ambientes, reforzando el discurso y posición que se ha mantenido a nivel internacional.

La sociedad en general y las personas en la toma de decisiones respecto al patrimonio que yace en el océano, no cuentan comúnmente con el conocimiento técnico que recaban los científicos, por lo que es necesario productos de comunicación diseñados para optimizar la facilidad de transmisión de ese conocimiento, sin perder rigurosidad. En este contexto, las estrategias de comunicación efectivas resultan necesarias para transmitir datos y conceptos complejos, a una sociedad que está recargada de información, pero que debe ser capaz de emitir criterios informados, facilitados por los mismos representantes

gubernamentales, en su afán de accionar en buena fe de las labores diplomática y garantizando la transparencia en la toma de decisiones. Si la sociedad no cuenta con la información del recurso que les pertenece, resulta desafiante hacerles ver lo imperante de hacer una gestión sostenible de un sistema que cuenta con sus capacidades de carga y umbrales de impacto, muchos aún sin definir.

Este manuscrito busca ser una referencia para comprender la importancia de la exploración e investigación en el océano profundo en Costa Rica y su traducción en la implementación de políticas públicas ambientales a largo plazo que beneficien a la humanidad y al ecosistema marino en su conjunto. Adicionalmente, busca inspirar a líderes de estado, diplomáticos y al público general, al resaltar cómo Costa Rica puede abrir camino hacia la sostenibilidad oceánica global mediante una combinación de investigación, políticas y diplomacia, y cómo esta visión puede ser aplicada a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS Y PERMISOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del Schmidt Ocean Institute y todo el personal del RV *Falkor* (*too*). Se otorgó permiso para llevar a cabo esta investigación en las aguas de Costa Rica mediante consentimiento diplomático del Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de Costa Rica a la Embajada de Estados Unidos (DNS-2023-0126). Esta investigación básica se realizó con permiso para acceder a elementos genéticos y bioquímicos, así como a recursos de biodiversidad o conocimientos tradicionales asociados, otorgados por la Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica (Permiso R-026-2023-OT-CONAGEBIO para el Dr. Jorge Cortés-Núñez). También agradecemos el consentimiento informado previo del ministro de Pesca y Acuicultura, Sr. Heiner Méndez Barrientos, del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA). El tiempo de embarque para esta expedición fue proporcionado por el Schmidt Ocean Institute. La financiación de terceros para la participación del equipo científico en esta expedición provino de diversas fuentes, incluyendo la red Crustal Ocean Biosphere Research Accelerator (COBRA) financiada por la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (OISE-2114593), financiamiento discrecional del Laboratorio Bigelow para Ciencias del Océano y el apoyo de las universidades públicas de Costa Rica. El equipo científico agradece a Miguel Semedo, Esteban Herrera Herrera y Nathalie Swain-Diaz por su asistencia a bordo del barco.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los resultados de esta expedición, información del equipo científico y detalles de interés están disponibles en la página web de la expedición: schmidtoclean.org/cruise/octopus-odyssey y los datos estarán disponibles para descarga y consulta en la página web bco-dmo.org/program/856233

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apprill, A. (2017). Marine animal microbiomes: toward understanding host–microbiome interactions in a changing ocean. *Frontiers in Marine Science*, 4, 222.
- Bell, K. L. C., Quinzin, M. C., Amon, D., Poulton, S., Hope, A., Sarti, O., Cañete, T., Smith, A., Baldwin, H., Lira, D., Cambronero-Solano, S., Chung, T.R. & Brady, B. (2023). Exposing inequities in deep-sea

- exploration and research: results of the 2022 Global Deep-Sea Capacity Assessment. *Frontiers in Marine Science*.
- CBD, Report of the Eastern Tropical and Temperate Pacific Region Workshop to Facilitate the Description of Ecologically or Biologically Significant Areas. UNEP/ CBD/RW/EBSA/ETTP/1/4, Galapagos Islands, Ecuador, 28-31 August 2012. <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/ebsa-ettp-01/official/ebsa-ettp-01-04-en.pdf> (consultado el 20 de Septiembre 2023), 2013.
- Cortés, J. 2009. A history of marine biodiversity scientific research in Costa Rica. Chapter II, pp. 47-80. In: I.S. Wehrtmann and J. Cortés (Eds.). *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America. Monographiae Biologicae*, Volume 86. Springer + Business Media B.V., Dordrecht.
- Fisher, A. T., Stein, C. A., Harris, R. N., Wang, K., Silver, E. A., Pfender, M., Hutnak, M., Cherkaoui, A., Bodzin, R., & Villinger, H. (2003). Abrupt thermal transition reveals hydrothermal boundary and role of seamounts within the Cocos Plate. *Geophysical Research Letters*, 30(11), 2–5. <https://doi.org/10.1029/2002GL016766>
- Hartwell, A. M., Voight, J. R., & Wheat, C. G. (2018). Clusters of deep-sea egg-brooding octopods associated with warm fluid discharge: An ill-fated fragment of a larger, discrete population? *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 135, 1-8.
- Iehata, S., Valenzuela, F., & Riquelme, C. (2016). Evaluation of relationship between Chilean octopus (*Octopus mimus* Gould, 1852) egg health condition and the egg bacterial community. *Aquaculture Research*, 47(2), 649-659.
- IATTC (Inter-American Tropical Tuna Commission). (2003). Convention for the strengthening of the Inter-American Tropical Tuna Commission established by the 1949 Convention between the United States of America and the Republic of Costa Rica ("Antigua Convention").
- Johnson, D. E., Salazar, E. R., Gallagher, A., Rees, A., Rodriguez, C. S., Cambronero-Solano, S., Rojas, G. & Froján, C. B. (2018). Preventing plastics pervading an oceanic oasis: building the case for the Costa Rica Thermal Dome to become a World Heritage site in ABNJ. *Marine Policy*, 96, 235-242.
- Lauer, R. M., Fisher, A. T., & Winslow, D. M. (2018). Three-dimensional models of hydrothermal circulation through a seamount network on fast-spreading crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 501, 138-151.
- Lutz, H. L., Ramírez-Puebla, S. T., Abbo, L., Durand, A., Schlundt, C., Gottel, N. R., ... & Mark Welch, J. L. (2019). A simple microbiome in the European common cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Msystems*, 4(4), 10-1128.
- Salinas-de-León, P., Phillips, B., Ebert, D., Shivji, M., Cerutti-Pereyra, F., Ruck, C., ... & Marsh, L. (2018). Deep-sea hydrothermal vents as natural egg-case incubators at the Galapagos Rift. *Scientific reports*, 8(1), 1788.
- Spalding, A. K., Grorud-Colvert, K., Allison, E. H., Amon, D. J., Collin, R., de Vos, A., ... & Thurber, R. V. (2023). Engaging the tropical majority to make ocean governance and science more equitable and effective. *npj Ocean Sustainability*, 2(1), 8.

- Teo, J. (2023). Ocean materialities and the ontologies of ocean conservation in Areas Beyond National Jurisdiction: The Costa Rica Thermal Dome. *Marine Policy*, 153, 105646.
- UN, Draft agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction. Intergovernmental conference on an international legally binding instrument under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction. New York, United States of America, 20 February - 3 March. https://www.un.org/bbnj/sites/www.un.org/bbnj/files/draft_agreement_advanced_unedited_for_posting_v1.pdf (consultado el 20 de Septiembre 2023), 2023
- Wheat, C. G., & Fisher, A. T. (2008). Massive, low-temperature hydrothermal flow from a basaltic outcrop on 23 Ma seafloor of the Cocos Plate: Chemical constraints and implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(12).
- Wheat, C. G., Hartwell, A. M., McManus, J., Fisher, A. T., Orcutt, B. N., Schlicht, L. E., ... & Bach, W. (2019). Geology and fluid discharge at Dorado Outcrop, a low temperature ridge-flank hydrothermal system. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(1), 487-504.