

DEEP-OCEAN STEWARDSHIP INITIATIVE

## Redefinición de la Influencia de los Ecosistemas Quimiosintéticos para su Gestión Ambiental Efectiva

## Mensajes clave:

- 1. Los ecosistemas quimiosintéticos tienen un papel relevante en la función y estado de salud del océano.
- 2. La definición del área cubierta por los ecosistemas quimiosintéticos (fuentes hidrotermales y filtraciones de hidrocarburos) debe incluir los hábitats abarcados por su zona de influencia, en lugar de considerarse como islas separadas del fondo marino profundo circundante.
- 3. La pesca, la extracción de crudo y gas y la minería de aguas profundas pueden afectar los ecosistemas quimiosintéticos.
- 4. Los estándares metodológicos de los estudios de línea base, de monitoreo y de las evaluaciones de impacto ambiental dan información para la gestión espacial de estos ecosistemas.

## **Conocimiento actual:**

Algunos organismos obtienen su energía de compuestos y elementos químicos en lugar de obtenerla de la luz solar. En los ecosistemas quimiosintéticos, los microorganismos utilizan energía de origen químico para crear biomasa que, a su vez, es una fuente alimenticia para los animales. Ejemplos de ecosistemas quimiosintéticos son las fuentes hidrotermales (Fig. 1) y las filtraciones de hidrocarburos (Fig. 2). Ambos contribuyen significativamente al funcionamiento y a la salud de nuestro océano. Los resultados científicos más recientes reconocen que estos ecosistemas tienen influencia en amplias zonas de transición (Fig. 3) que incluyen un área circundante sin quimiosíntesis. Esta área extensa bajo influencia de los ecosistemas quimiosintéticos debe ser considerada en los planes de gestión del ambiente oceánico. La zona de transición se compone de una combinación de fauna que depende de la energía quimiosintética con fauna del fondo marino circundante que se acerca a hacer uso de componentes de origen quimiosintético (Fig. 4). Dichos componentes incluyen sustrato único (ej. rocas o costras producto de precipitación de minerales asociadas a la filtración de estos fluidos), flujo de nutrientes y **productividad quimiosintética**. Estas zonas también engloban interacciones biológicas insospechadas, por ejemplo, nuevos taxa con bacterias simbióticas dependientes del metano. La escala espacial de esta influencia varía entre sitios, entre regiones y a nivel global en función de procesos físicos, químicos y geológicos. Estas zonas son inestables. El calentamiento del océano favorece el aumento de liberación de gas metano desde depósitos que se encuentran por debajo de la superficie del fondo marino. El cambio climático afecta la calidad, el ritmo y la magnitud de productividad del fitoplancton en la superficie de la columna de agua, la fuente principal de alimento de origen fotosintético del océano. Esto afecta a los organismos bentónicos que dependen del flujo de este alimento hacia el fondo marino para su subsistencia. Estos organismos bentónicos, para los que puede escasear el alimento fotosintético que llega desde la superficie, pueden usar temporalmente el alimento producido en el fondo marino en ecosistemas quimiosintéticos. La influencia que tienen los ecosistemas quimiosintéticos en el océano define la resiliencia y extinción potencial que el cambio climático pueda incidir en el mar profundo mediante modificaciones en la dispersión e incluso en la evolución de las especies.

El papel de los ecosistemas quimiosintéticos y de sus zonas de transición es clave para la preservación de funciones y procesos evolutivos del océano. La extensión que tiene la zona de transición debiera determinarse durante las evaluaciones preliminares de los estudios de impacto ambiental de actividades antropogénicas. La nueva comprensión de los ecosistemas quimiosintéticos implica que se requieren ajustes en los planes de gestión estratégicos climáticos para actividades humanas asociadas a ellos. Los planes de gestión de minería, extracción de crudo y gas, así como de pesquería de aguas profundas deberían incorporar las zonas de transición de estos ecosistemas. Es importante que estos planes de gestión reconozcan las interacciones difusas con especies de las comunidades de mar profundo circundantes. Esto garantizará que se consideren los datos más apropiados a la hora de tomar decisiones que contemplen resiliencia, adaptación climática, conservación y uso de estos ecosistemas.



Fig. 1. Una chimenea activa de filtración hidrotermal "fumarola negra" con pequeños camarones dependientes de filtraciones hidrotermales. Imagen cortesía de la Oficina de Exploración e Investigación Oceánica de la NOAA, 2016. Exploración en aguas profundas de las Marianas.

Fig. 2. Filtración de hidrocarburos (burbujas de gas metano) con poliquetos, anémonas y parches de matas microbianas en la periferia de la zona de filtración, en la costa de Virginia al norte del Cañón de Washington. Imagen por cortesía de la Oficina de Exploración e Investigación Oceánica de la NOAA. Exploración e Investigación Oceánica, 2013 ROV Shakedown and Field Trials in the U.S. Cañones del Atlántico.

## El problema:

Los intereses humanos y las industrias extractivas se están moviendo progresivamente hacia aguas más profundas e interactuando con las fuentes hidrotermales y las filtraciones de hidrocarburos. En las fuentes hidrotermales, una de las principales amenazas es la futura explotación minera de los depósitos masivos de sulfuro del fondo marino (SMS según sus siglas en inglés). Las filtraciones de hidrocarburos pueden ser impactadas por la pesca comercial, la exploración y explotación de crudo y gas y, en el futuro, la extracción de hidratos de gas y extracción de fosforita o instalaciones energéticas en alta mar. Todos estos ecosistemas también son impactados por el cambio climático y el aumento de los niveles de contaminación. Los enfoques empleados actualmente para identificar los hábitats quimiosintéticos no permiten identificar el alcance de la influencia de estos hábitats en los sistemas marinos. Los estudios utilizados para localizar estos hábitats incluyen un componente cartográfico, mediante combinación de datos acústicos. Este tipo de datos permite localizar las zonas de mayor actividad de flujo de fluidos y agregaciones de animales quimiosintéticos con cuerpos calcificados.

Para un análisis más detallado de las características ingenieriles del ambiente antes de iniciar actividades industriales, se suelen emplear Vehículos Operados Remotamente (ROV) o Vehículos Submarinos Autónomos (AUV). Estos permiten la adquisición de transectos de vídeo o fotográficos.

La teledetección y los estudios visuales no permiten la identificación de componentes inconspicuos de los ecosistemas quimiosintéticos. Los ecosistemas quimiosintéticos y aquellos de áreas circundantes no se encuentran separados por un límite marcado, si no que se encuentran conectados mediante una esfera de influencia. Esta conexión entre ambos tipos de ecosistemas sólo se detecta a través de mediciones directas, tomando muestras físicas de sedimentos, agua y organismos vivos asociados a ellos. Las fuentes hidrotermales influyen en los aportes de metales traza al océano global, en la distribución de nutrientes y plancton a nivel regional, y en la abundancia de alimento local a través de una mayor productividad primaria microbiana y productividad secundaria.



Fig. 3A. Zona de transición de filtraciones de hidrocarburos con abanicos de coral paramuricea (como los que fueron impactados por el derrame de petróleo de la Deepwater Horizon) utilizando el sustrato proporcionado por las rocas carbonáticas (derivadas de las filtraciones) con conchas de almejas quimiosintéticas incrustadas. Imagen por cortesía de Erik Cordes, el consorcio ECOGIG y el Ocean Exploration Trust.

Fig. 3B. Zona de transición de una filtración de hidrocarburos frente a la costa de Carolina del Norte, Estados Unidos. Las matas microbianas de bacterias blancas indican zonas de filtración activa, mientras que los peces (Brama sp.) y las estrellas de mar son especies de alrededores que visitan las filtraciones para aprovechar la productividad quimiosintética. Imagen por cortesía de Ivan Hürzeler, proyecto DEEP SEARCH, y copyright Woods Hole Oceanographic Institution.

Las filtraciones de hidrocarburos proveen hábitat (sustratos duros, matas microbianas) y una elevada producción microbiana que pueden alterar localmente las redes tróficas a lo largo de cientos de metros hasta kilómetros del fondo marino circundante y de la columna de agua suprayacente. Se sabe que una amplia montículos, asociadas a la influencia de fuentes gama de organismos del agua y del fondo marino viven, se alimentan y/o se reproducen dentro o en la periferia de las fuentes hidrotermales y filtraciones de hidrocarburos (Fig. 5). Las filtraciones de hidrocarburos suelen tener asociadas plumas de burbujas y, en algunos casos, surgencias (o upwelling) asociado a características topográficas del fondo marino similares a cráteres (pockmarks). Estas características pueden fortalecer la influencia biológica y química de las filtraciones de metano en la columna de agua.

## Los conceptos de zonas de transición y "Quimiotonos":

Entre los hábitats quimiosintéticos del fondo marino profundo y la columna de agua suprayacente no hay límites marcados como se suele sugerir. En su lugar, zonas de transición se extienden como un continuo desde la fuente de energía quimiosintética local hasta las comunidades circundantes de mar profundo, tanto horizontal como verticalmente. Las zonas de transición son ecotonos, generados por la superposición de los componentes físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas quimiosintéticos con aquellos inherentes a los ecosistemas circundantes. El tamaño y la forma exactos de estas zonas de transición varía entre regiones en función de las características locales. Estas características incluyen la cantidad de productividad quimiosintética, la interacción específica de los microorganismos y la fauna de ambos ecosistemas adyacentes, así como las condiciones geológicas y oceanográficas.

Las zonas de transición más amplias se encuentran donde existe una alta producción quimiosintética, utilizada frecuentemente por las especies del mar profundo circundante, así como donde existen características geomorfológicas, como crestas y hidrotermales y filtraciones de hidrocarburos sobre los patrones locales de corrientes.

Las zonas en las que, producto de la cercanía de fuentes hidrotermales y filtraciones de hidrocarburos, hay solapamiento de producción quimiosintética y fotosintética se conocen como "quimiotonos". Donde el alimento suministrado por la productividad fotosintética superficial es bajo o carece de consistencia, la provisión de alimentos derivados de la producción quimiosintética puede ejercer una influencia importante a lo largo de una amplia zona. El tamaño de la zona de transición también varía en función de la naturaleza y la fuerza relativa de las conexiones entre los ecosistemas quimiosintéticos y la fauna de los alrededores. Estas conexiones, a su vez, dependen de la diversidad y la frecuencia de las visitas de grandes depredadores y carroñeros móviles, bentónicos y demersales, así como de la fauna que realiza migraciones verticales diarias. Muchas especies de fuentes hidrotermales y filtraciones de hidrocarburos también liberan larvas planctónicas que se desarrollan en aguas cercanas a la superficie. El metano expulsado de las fuentes hidrotermales y de las filtraciones de hidrocarburos puede ser oxidado por microorganismos asociados a animales mixotróficos que pueden utilizar una mezcla de fuentes de alimento fotosintéticas y quimiosintéticas. El aprovechamiento de la energía química es fundamental para estos ecosistemas. Pero a su vez, estos afectan el ciclo de nutrientes, el secuestro de carbono y la remoción de contaminantes dentro de los quimiotonos.

La liberación de sustancias químicas desde los ambientes quimiosintéticos puede ser muy variable en el tiempo y en el espacio. La cobertura espaciotemporal de estas emisiones, y de la zona de transición asociada, está determinada por el conjunto de factores físicos, la configuración geológica y las condiciones oceanográficas. Las filtraciones de hidrocarburos suelen estar relacionadas con la actividad sísmica y pueden actuar como indicadores de depósitos de fluidos profundos y de los sistemas de fallas que los controlan, los cuales pueden cubrir amplias zonas por debajo del fondo marino. Las filtraciones de hidrocarburos son dinámicas y pueden comportarse como ecosistemas quimiosintéticos incluso sin un burbujeo activo. Este es el caso de las burbujas de metano que quedan atrapadas en sedimentos finos poco permeables, sólo detectables mediante registros sísmicos de alta resolución y mediciones geoquímicas directas.

## Aplicación a la Gestión Espacial:

La forma en la que se delimitan los ecosistemas quimiosintéticos tiene amplias implicaciones para la definición de la unidad de gestión. Un límite blando, que incluya una zona de transición, implica que cada sitio ejerce su influencia sobre cierta distancia. Esta distancia debe medirse empíricamente y no se puede generalizar entre sitios con diferentes atributos locales y regionales. Para preservar ecosistemas quimiosintéticos se establecen áreas de amortiguación a su alrededor. Para proteger la zona de transición, las áreas de amortiguación deben extenderse desde los límites externos de las zonas de transición. Deben desarrollarse métodos mejorados para los estudios de base, los monitoreos y las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) para determinar la distancia abarcada por esta transición entre los hábitats quimiosintéticos y aquellos del mar profundo circundante. Estos métodos no pueden basarse simplemente en la teledetección y los indicadores visuales del tipo de hábitat. Muchos procesos relevantes no pueden medirse a partir de estos datos, como el flujo de energía, el suministro de nutrientes y hábitats, el ciclo biogeoquímico, las interacciones entre especies y la comunidad biológica debajo del fondo marino. Los estudios sísmicos, cartográficos y visuales deben complementarse con muestras directas de los hábitats sedimentados circundantes y de la columna de agua suprayacente. Éstas deben ser analizadas en busca de indicios de aportes quimiosintéticos obtenidos mediante mediciones químicas de disponibilidad de carbono orgánico e isótopos estables de la materia orgánica y de la fauna. Deberían explorarse otras funciones basadas en el análisis de los rasgos biológicos de las comunidades de las fuentes hidrotermales v de las filtraciones de hidrocarburos. Deberían realizarse

análisis moleculares de la fauna, así como una evaluación de la presencia de simbiontes microbianos quimiosintéticos para establecer la conectividad genética y el grado de dependencia de la quimiosíntesis. Relevamientos y muestreos, antes, durante y después de la actividad industrial, deberían extenderse más allá del borde visualmente obvio del hábitat para abarcar la zona de transición. La distancia exacta de ésta última debería determinarse mediante los estudios de base que forman parte del proceso de EIA. Estas zonas deberían ser operacionalizadas e incluidas dentro del proceso de manejo requerido para cada uno de los sitios con presencia de ecosistemas quimiosintéticos.

En el contexto del manejo espacial, recomendamos que los ecosistemas quimiosintéticos se consideren como hábitats con amplias zonas de transición, en lugar de considerarse islas con límites marcados en medio del fondo marino profundo. Su uso por parte de la biota circundante de aguas profundas, incluyendo a los peces y a los mariscos de valor comercial, ha hecho que el Consejo de Gestión de la Pesca del Pacífico de los Estados Unidos de América reconozca las filtraciones de hidrocarburos como hábitat esencial para los peces. En diferentes Zonas Económicas Exclusivas, y en áreas más allá de las jurisdicciones nacionales, los hábitats de venteos hidrotermales y los de las filtraciones de hidrocarburos podrían clasificarse como Ecosistemas Marinos Vulnerables (EMV), tal como se definen en las Directrices del Organismo Regional de Ordenación Pesquera (OROP) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y caen dentro de uno o más regímenes de gestión espacial.



Fig. 4. Pez de roca rojo (Sebastes sp.) y pez lobo manchado (Anarhichas minor) utilizando carbonatos de las filtraciones de hidrocarburos en la plataforma de Prins Karls Forland (Åström et al. 2020).

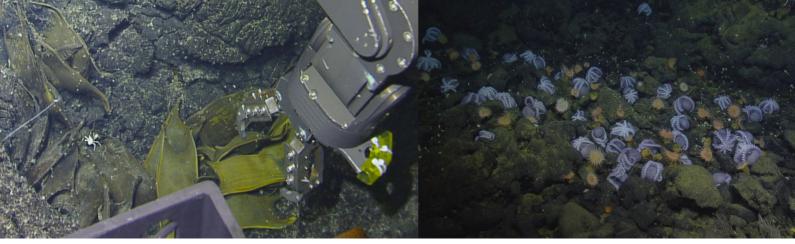


Fig. 5A. Grupos de huevos de raya de Bathyraja spinosissima cerca de filtraciones hidrotermales del noroeste de las Islas Galápagos. Imagen cortesía de OCEAN EXPLORATION TRUST/NOAA.

Fig. 5B. Extensas agregaciones de hembras de pulpo reproductoras (Muusoctopus robustus), "jardín de pulpos", asociadas a filtraciones hidrotermales del Santuario Marino Nacional de la Bahía de Monterey. Imagen cortesía de OCEAN EXPLORATION TRUST/NOAA.

El alto grado de conectividad entre estos hábitats y el fondo marino requiere una revisión de las políticas y procedimientos de gestión. Sólo a través de la conceptualización de estos sitios como fuertemente vinculados con los ecosistemas de mar profundo circundantes, se podrán preservar eficazmente los servicios ecosistémicos que proporcionan y mantener las funciones y estado de salud de nuestro océano.

# Acciones Prioritarias Sugeridas para los Estados:

- 1. Los planes de gestión espacial, incluyendo monitoreo ambiental y exclusión de áreas para conservación, deben incluir la zona de transición alrededor de los venteos hidrotermales y de las filtraciones de hidrocarburos.
- 2. Estos planes de gestión deberían desarrollarse y aplicarse siempre que las actividades humanas en aguas profundas, incluyendo la pesca, el desarrollo de la energía o de la minería, puedan solaparse con fuentes hidrotermales o filtraciones de hidrocarburos.
- 3. La extensión de la zona de transición sólo puede determinarse mediante una combinación de teledetección (batimetría con ecosonda multihaz y perfil sísmico de alta resolución bajo el fondo marino) junto con estudios visuales y muestreos de sedimentos, fluidos y fauna realizados por sumergibles de aguas profundas (con tripulación, operados a distancia o autónomos) (véase el Recuadro 1).

# Recomendaciones para los términos de referencia de la EIA Recuadro 1

Al evaluar los ecosistemas quimiosintéticos a través del proceso de EIA, su conectividad con las áreas circundantes debería abordarse de la siguiente manera:

#### 1) Hábitat

- ¿Cómo cambian el sustrato físico (estrés de cizallamiento), el tipo de sedimento, los parámetros ambientales (por ejemplo, la profundidad, la presión, la salinidad, el oxígeno, el metano, el sulfuro de hidrógeno, la concentración de partículas en suspensión, las corrientes) y las comunidades microbianas y animales?
- ¿A qué distancia se producen los cambios?

## 2) Comunidades

- ¿Existen solapamientos en las distribuciones de las especies?
- ¿Qué grado de similitud genética existe?
- ¿Se dispersan las mismas especies en los dos tipos de hábitat? ¿En qué escala temporal?
- ¿En qué medida las mismas especies colonizan los hábitats?
- ¿Hay interacción (alimentación, refugio, competencia) entre especies?
- ¿Hay diferencias en el comportamiento de los animales (alimentación, reproducción, movimiento direccional)?
- ¿Dónde se alimentan los animales y cuál es el origen del alimento en sus intestinos y en sus tejidos? ¿Alojan bacterias simbióticas quimiosintéticas?

#### 3) Medio ambiente

- ¿Cuáles son las concentraciones de elementos como hierro, manganeso y oligoelementos? ¿Cómo cambian las concentraciones?
- ¿Cuáles son las concentraciones de elementos contaminantes como los metales pesados y los microplásticos? ¿Cómo cambian las concentraciones?
- ¿Cuál es el flujo de carbono y nutrientes? ¿Cómo cambia?

#### 4) Productividad

• ¿Cuál es la productividad y cómo cambia?

## Lectura complementaria

Åström, E. K., Sen, A., Carroll, M. L., & Carroll, J. (2020). Cold seeps in a warming Arctic: Insights for benthic ecology. Frontiers in Marine Science, 7, 244.

Ashford, O. S., Guan, S., Capone, D., Rigney, K., Rowley, K., Orphan, V., Mullin, S., Dawson, K., Cortés, J., Rouse, G., Mendoza, G., Lee, R., Levin, L.A. (2021). A chemosynthetic ecotone— "chemotone"—in the sediments surrounding deep-sea methane seeps. Limnology and Oceanography, 66(5), 1687-1702.

Cordes EE, Cunha MM, Galeron J, Mora C, Olu-Le Roy K, Sibuet M, Van Gaever S, Vanreusel A, Levin L. (2010) The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. Mar Ecol 31: 51-65. doi:10.1111/j.1439-0485.2009. 00334.x

Hammer, Ø., Webb, K.E., Depreiter, D. (2009). Numerical simulation of upwelling currents in pockmarks, and data from the Inner Oslofjord, Norway 269–275. https://doi.org/10.1007/s00367-009-0140-z

Levin, L. A., Baco, A. R., Bowden, D. A., Colaco, A., Cordes, E. E., Cunha, M. R., Demopoulos, A., Gobin, J., Grupe, B., Le, J., Metaxas, A., Netburn, A., Rouse, G., Thurber, A. R., Tunnicliffe, V., Van Dover, C., Vanreusel, A. and Watling, L. (2016) Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. Frontiers in Marine Science, 3, 72.

Skebo, K., Tunnicliffe, V., Berdeal, I. G., & Johnson, H. P. (2006). Spatial patterns of zooplankton and nekton in a hydrothermally active axial valley on Juan de Fuca Ridge. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 53(6), 1044-1060.

#### **ACERCA DE DOSI**

La Deep-Ocean Stewardship Initiative (DOSI) trata de integrar la ciencia, la tecnología, la política, el derecho y la economía para asesorar el manejo basado en ecosistemas para el uso de los recursos en las profundidades del océano y las estrategias para mantener la integridad de los ecosistemas de las profundidades oceánicas dentro y fuera de la jurisdicción nacional.

#### Preparado por los miembros del DOSI:

Erik Cordes, Lisa Levin, Andrew Thurber, Anna Metaxas, María Emilia Bravo, Maria Baker.

#### Traducido al español por:

María Emilia Bravo, Elva Escobar, Eva Ramirez-Llodra.

Contacto: dosi@soton.ac.uk

