

Sistemas hidrotermales: secretos del océano profundo

Hydrothermal Systems: Secrets of the Deep Ocean

María Carolina Rodríguez Uribe

Resumen

Los sistemas hidrotermales submarinos son manifestaciones del calor interno de la Tierra que ocurren principalmente en límites divergentes, convergentes y fallas transformantes. Se caracterizan por chimeneas de variadas formas y composiciones, que expulsan fluidos a temperaturas superiores a los 400°C. Estos entornos extremos permiten explorar procesos clave como el origen de la vida, la acidificación oceánica y dinámicas geológicas y químicas únicas. Además, albergan especies exclusivas, adaptadas a estas condiciones. Este artículo introduce los principales aspectos de los sistemas hidrotermales submarinos, resaltando su importancia científica y ecológica.

Palabras clave: sistemas hidrotermales, chimeneas submarinas, ecosistemas extremos, mineralización marina, vida oceánica.

Abstract

Submarine hydrothermal systems are manifestations of the Earth's internal heat that primarily occur at divergent and convergent boundaries, as well as transform faults. They are characterized by vents of various shapes and compositions, which expel fluids at temperatures exceeding 400°C. These extreme environments provide opportunities to explore key processes such as the origin of life, ocean acidification, and unique geological and chemical dynamics. Additionally, they host exclusive species uniquely adapted to these conditions. This article introduces the main aspects of submarine hydrothermal systems, highlighting their scientific and ecological significance.

Keywords: hydrothermal systems, submarine vents, extreme ecosystems, marine mineralization, ocean life.

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO

Rodríguez Uribe, María Carolina. (2025, enero-febrero). Sistemas hidrotermales: secretos del océano profundo. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 26(1). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2025.26.1.5>

María Carolina Rodríguez Uribe

Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.

Profesora de Matemáticas adscrita al Departamento de Ciencias Exactas desde 2008 en el Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, en Puerto Vallarta, Jalisco. Es Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de Tepic y cuenta con una Maestría en Ciencias en Geofísica, así como un Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, ambos por la Universidad de Guadalajara. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) desde 2021, en el área 1: Físico Matemáticas y Ciencias de la Tierra, en el nivel 1. Su labor docente se enfoca en impartir asignaturas como Cálculo Diferencial e Integral, Ecuaciones Diferenciales, Análisis Numérico y Estadística a nivel licenciatura, así como Geotermia y Métodos Cuantitativos en posgrados. Su investigación se centra en el estudio de sistemas hidrotermales submarinos someros, aunque también aborda temas relacionados con la enseñanza de las matemáticas en el nivel superior. Además, cuenta con un canal educativo llamado [Matemáticas con Carito](#).

 maria.ruribe@academicos.udg.mx

Introducción

Los sistemas hidrotermales submarinos son áreas donde el agua, calentada geotérmicamente, se descarga en el fondo marino (Prol-Ledesma y Canet, 2014). Este fenómeno ocurre a través de fracturas o fallas geológicas, al final de las cuales se forman aperturas u orificios por donde emerge el agua hidrotermal. Alrededor de estas aperturas se desarrollan estructuras conocidas como chimeneas hidrotermales (figura 1), compuestas principalmente por minerales precipitados, arena, rocas, basalto degradado, restos calcáreos (como fragmentos de conchas y espinas) y tapetes bacterianos.¹ El agua que fluye de estas chimeneas puede alcanzar temperaturas superiores a los 400 °C, aunque la alta presión oceánica impide que hierva (NOAA, 2024).

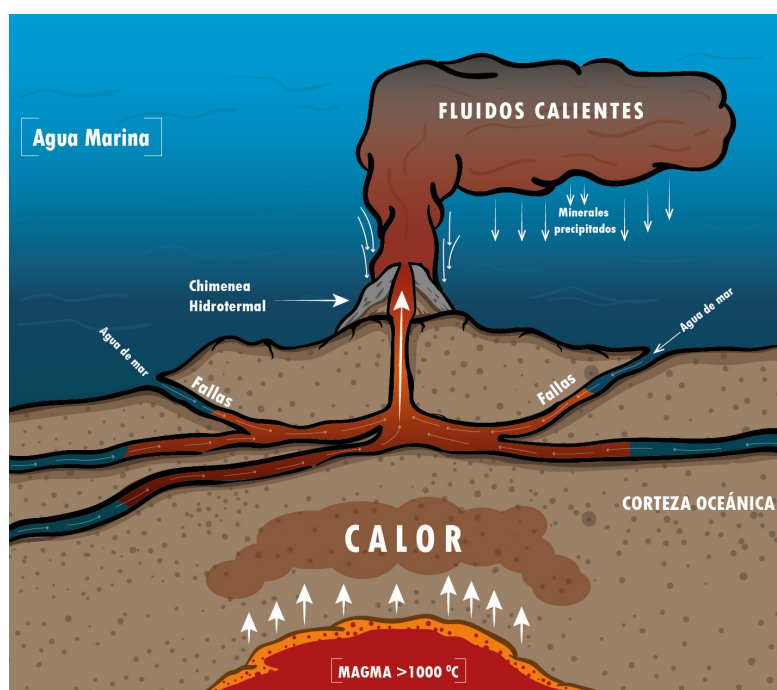


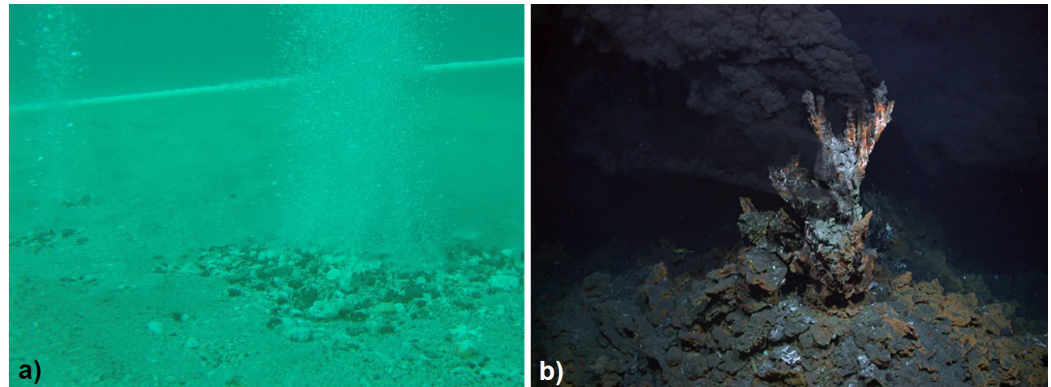
Figura 1. Diagrama simplificado que muestra el funcionamiento de un sistema hidrotermal submarino en el centro de una dorsal oceánica. Crédito: Elaboración propia, basada en Massoth et al. (1988).

Las condiciones físicas y químicas, junto con la periodicidad y duración de las descargas hidrotermales, determinan la forma y el tamaño de las chimeneas. La figura 2a muestra manifestaciones hidrotermales a 9 m de profundidad y 400 m de la Playa de Punta Pantoque, en la Bahía de Banderas, Nayarit. La poca profundidad de estas estructuras influye en su tamaño, ya que están expuestas a la acción del oleaje, las corrientes de fondo y las tempestades. En contraste, la figura 2b presenta una chimenea ubicada a 3000 m de profundidad en la dorsal Mesoatlántica. Esta última exhibe una estructura prominente y bien definida, cuyas descargas contienen principalmente sulfuros² de hierro, lo que les da su característico color negro. Por esta razón, en inglés se les conoce como *black smokers*.

¹ Densas colonias de bacterias que se agrupan sobre o alrededor de las chimeneas hidrotermales, formando una capa visible similar a un “tapete”.

² Compuestos formados por la combinación de azufre con elementos metálicos.

Figura 2. Chimeneas hidrotermales. a) Descargas hidrotermales a 9 m de profundidad en la Bahía de Banderas, Nayarit, México (Rodríguez-Urbe et al., 2024). b) Fumarola negra (*black smoker*) a 3000 m de profundidad en la dorsal Mesoatlántica, océano Atlántico (MARUM-Center for Marine Environmental Sciences, 2007.).



El objetivo de este artículo es ofrecer un primer acercamiento a los sistemas hidrotermales submarinos, describiendo sus características físicas, químicas y geológicas, así como su relevancia biológica.

El inicio de la exploración de los sistemas hidrotermales

La exploración de los sistemas hidrotermales comenzó en 1964, durante una expedición del barco de investigación y exploración científica RRS *Discovery*. En esta misión se descubrieron zonas con salmueras calientes³ (temperaturas superiores a 44 °C) a 2000 m de profundidad en el Mar Rojo, un sitio que hoy se conoce como “Atlantis II Deep” (Swallow, 1969). El análisis de estas salmueras reveló una mezcla inusual de agua marina profunda y agua enriquecida con compuestos químicos peculiares (Charcock, 1964). Este hallazgo despertó el interés de la comunidad científica hacia los sistemas hidrotermales, lo que marcó el inicio de investigaciones que han ampliado significativamente nuestro entendimiento de los procesos geológicos, físicos, químicos y biológicos asociados a estos entornos. Entre los avances más destacados está el descubrimiento de ecosistemas únicos en dichas regiones.

¿Dónde se localizan los sistemas hidrotermales submarinos?

Los sistemas hidrotermales submarinos se forman en áreas con intensa actividad tectónica, donde el agua interactúa con fuentes de calor subterráneas (tabla 1) y circula a través de fracturas en la corteza oceánica. Estos sistemas pueden encontrarse a distintas profundidades, desde la zona intermareal hasta la región abisal. Actualmente, se han identificado 721 sitios hidrotermales, tanto profundos como someros (InterRidge, 2023; figura 3).

³Soluciones salinas altamente concentradas, calientes y enriquecidas con metales, que emergen del fondo marino a través de chimeneas hidrotermales.

Entorno geológico	Descripción	Ejemplos
Dorsales oceánicas	Se forman en límites divergentes de placas tectónicas, donde el magma asciende desde el manto creando nueva corteza oceánica.	Dorsal Mesoatlántica Dorsal del Pacífico Oriental
Arcos volcánicos y zonas de subducción	Se presentan en áreas de subducción, donde una placa se hunde bajo otra, generando calor y fluidos que alimentan volcanes submarinos y sistemas hidrotermales.	Anillo de Fuego del Pacífico
Fallas transformantes	Se encuentran donde las placas tectónicas se deslizan lateralmente, creando fracturas que permiten la circulación de fluidos hidrotermales.	Falla de Mendocino, América del Norte

Tabla 1. Entornos geológicos propicios para la formación de sistemas hidrotermales submarinos.

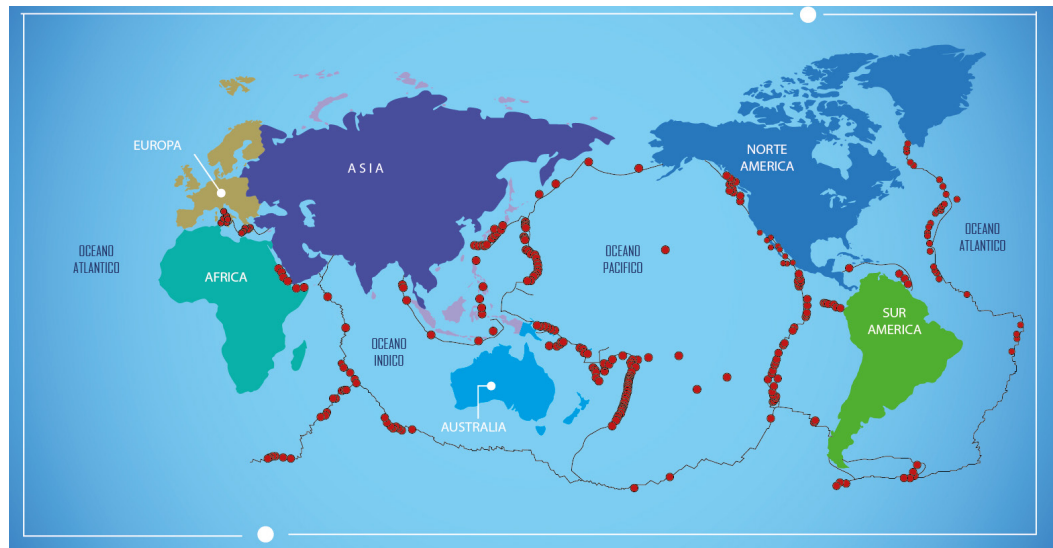


Figura 3. Distribución global de los sistemas hidrotermales submarinos. Los círculos rojos indican la ubicación de los sitios conocidos. Crédito: Elaboración propia, basada en InterRidge Maps (2023) e InterRidge (2023).

Principales características

Los sistemas hidrotermales submarinos se clasifican en dos tipos principales: profundos (más de 200 m de profundidad; figura 4a) y someros (menos de 200 m de profundidad; figura 4b) (Tarasov et al., 2005). Esta clasificación no sólo se basa en la profundidad, sino también en diferencias significativas en los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en cada tipo de sistema.

La tabla 2 presenta un resumen comparativo de las principales características de ambos fenómenos, destacando las variaciones en sus condiciones ambientales y las adaptaciones de las especies que habitan en ellos.

Características	Sistemas Hidrotermales	
	Profundos	Someros
Profundidad	>200 m	<200 m
Luz solar	Ausente	Presente
Temperaturas	>400°C	10°C - 120°C
Composición de las descargas hidrotermales	<ul style="list-style-type: none"> Sulfuros metálicos, sulfatos y carbonatos. Precipitan en grandes chimeneas (hasta de 60 m de altura). 	<ul style="list-style-type: none"> Sulfuros metálicos en menor proporción. Chimeneas más pequeñas y dispersas. Fase gaseosa, enriquecida en oxígeno disuelto (O₂).
Procesos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> Quimiosíntesis: base principal de la cadena alimenticia. Es decir, utilizan compuestos químicos para producir materia orgánica. Predominio de interacciones de simbiosis⁴ entre sus especies. 	<ul style="list-style-type: none"> Fotosíntesis: Utilizan la luz solar para producir materia orgánica. Quimiosíntesis presente, pero secundaria a la fotosíntesis. Mayor diversidad en las cadenas tróficas.⁵
Comunidad de organismos	<ul style="list-style-type: none"> Baja riqueza de especies. Ausencia de diatomeas.⁶ Organismos adaptados a altas concentraciones de metales y temperaturas. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor riqueza de especies. Mayor diversidad de meiofauna, son pequeños organismos (<0.5 cm) que viven en el lecho marino. Presencia de diatomeas y algas.
Especies exclusivas	<p>Sí. Ejemplos notables:</p> <ul style="list-style-type: none"> El gusano de tubo gigante (<i>Riftia pachyptila</i>). Cangrejo yeti (<i>Kiwa hirsuta</i>). Camarón ciego (<i>Rimicaris exoculata</i>). Mejillón gigante (<i>Bathymodiolus thermophilus</i>). 	<p>No.</p> <p>La mayoría de los organismos pueden encontrarse en otros ambientes marinos someros.</p>

Tabla 2. Comparación de las principales características físicas, químicas y biológicas entre los sistemas hidrotermales profundos y someros.

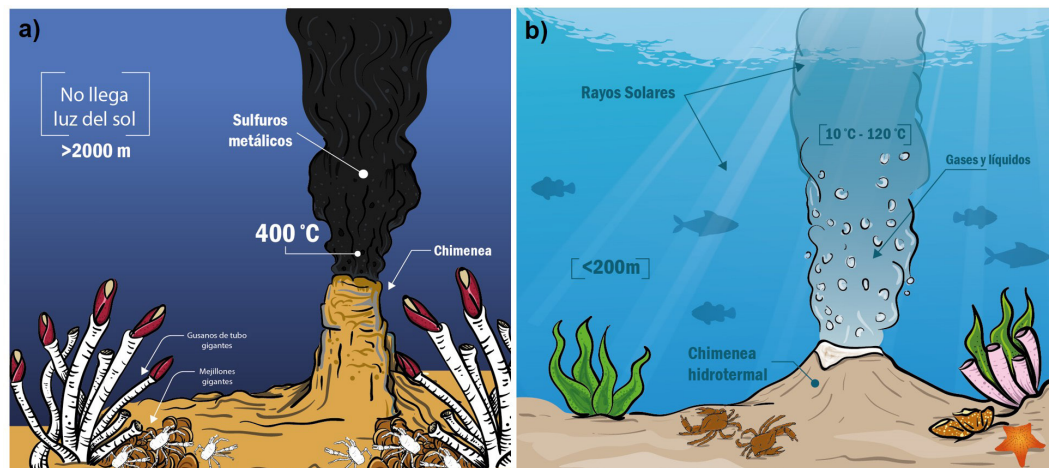


Figura 4. Representación gráfica de los sistemas hidrotermales submarinos.

a) Sistema hidrotermal submarino profundo. **b)** Sistema hidrotermal submarino somero. Crédito: elaboración propia.

⁴ Asociación entre dos organismos de diferentes especies en la que uno o ambos obtienen beneficios de la relación.

⁵ Serie lineal de especies interconectadas, donde unas se alimentan de otras, permitiendo el flujo de energía y nutrientes.

⁶ Algas unicelulares que habitan en ambientes marinos.

La importancia de los sistemas hidrotermales

El estudio de los sistemas hidrotermales submarinos abarca diversos aspectos fundamentales. A continuación, se destacan algunos ejemplos que subrayan su relevancia:

1. Origen de la vida en la Tierra.

Algunos estudios científicos sugieren que los sistemas hidrotermales submarinos reúnen las condiciones ideales para explicar el origen de la vida en nuestro planeta. Desde la perspectiva de la química prebiótica,⁷ se plantea que las altas temperaturas y la abundancia de minerales en estos entornos habrían facilitado la síntesis de compuestos orgánicos a partir de precursores inorgánicos (Colín-García et al., 2016).

2. Laboratorios naturales.

Los sistemas hidrotermales someros de origen volcánico pueden funcionar como laboratorios naturales para estudiar fenómenos como la acidificación oceánica. Sus descargas, ricas en dióxido de carbono (CO₂) y ácido sulfhídrico (H₂S), al mezclarse con el oxígeno disuelto en el agua de mar, generan una disminución del pH que acidifica el entorno. Este proceso puede afectar gravemente a organismos calcificadores como corales, moluscos, equinodermos y ciertas especies de plancton (Prol-Ledesma y Canet, 2014; Fanelli et al., 2022).

3. Generadores de minerales.

Los sistemas hidrotermales son responsables de extensos procesos de mineralización, que dan lugar a la formación de yacimientos de metales básicos (como cobre, hierro, plomo y zinc) y preciosos (como oro y plata). Entre los depósitos más destacados están los sulfuros masivos vulcanogénicos (vms, por sus siglas en inglés), ricos en sulfuros de hierro, cobre, zinc y plomo. También se encuentran depósitos de manganeso en la isla de Milos (Grecia), Wafangzi (China) y los Montes Tatra (Polonia) (Canet y Prol-Ledesma, 2006).

Conclusión

Los sistemas hidrotermales submarinos representan entornos extremos caracterizados por altas temperaturas y complejas interacciones geológicas, físicas, químicas y biológicas. Aunque su estudio exige importantes recursos humanos y económicos, su exploración es crucial.

Comprender estos sistemas permitirá no sólo conservarlos, sino también aprovecharlos de forma sostenible en el futuro. Además de ser fuentes de minerales de valor comercial, albergan especies únicas adaptadas a condiciones extremas que no se encuentran en otros ambientes. Conocer su existencia y funcionamiento es un paso esencial para ampliar nuestra comprensión del planeta y sus dinámicas.

Referencias

- ❖ Canet, C., y Prol-Ledesma, R. M. (2006). Procesos de mineralización en manantiales hidrotermales submarinos someros. Ejemplos en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1), 83-102. <https://doi.org/10.18268/bsgm2006v58n1a3>

⁷Disciplina que estudia la formación de las primeras moléculas orgánicas y el origen de la vida en la Tierra.

- ❖ Charnock, H. (1964). Anomalous bottom water in the Red Sea. *Nature*, 203(4945), 591-591. <https://doi.org/10.1038/203591a0>
- ❖ Colín-García, M., Heredia, A., Cordero, G., Camprubí, A., Negrón-Mendoza, A., Ortega-Gutierrez, F., Beraldi, H., y Ramos-Bernal, S. (2016). Hydrothermal vents and prebiotic chemistry: A review. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 599-620. <https://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v68n3/1405-3322-bsgm-68-03-00599.pdf>
- ❖ Fanelli, E., Di Giacomo, S., Gambi, C., Bianchelli, S., Da Ros, Z., Tangherlini, M., Andaloro, F., Romeo, T., Corinaldesi, C., y Danovaro, R. (2022). Effects of local acidification on benthic communities at shallow hydrothermal vents of the Aeolian Islands (Southern Tyrrhenian, Mediterranean Sea). *Biology*, 11(2), 321. <https://doi.org/10.3390/biology11020321>
- ❖ InterRidge Maps. (2023). Descargado el 24 de agosto de 2023 en https://vents-data.interridge.org/sites/vents-data.interridge.org/files/ventmap_2011_no_EEZs.jpg
- ❖ InterRidge. (2023). *InterRidge Vents Database Ver. 3.4*, consultado el 24 de agosto de 2023 en <https://vents-data.interridge.org/ventfields>
- ❖ MARUM. (2007). Descargado el 22 de septiembre de 2024 en <https://imagerieo.egu.eu/view/43/>
- ❖ Massoth, G. J., Milburn, H. B., Hammond, S. R., Butterfield, D. A., McDuff, R. E., y Lupton, J. E. (1988). The geochemistry of submarine venting fluids at axial volcano, Juan de Fuca ridge: New sampling methods and a vents program rationale. En *Global venting, midwater, and benthic ecological processes*. NOAA Rockville, M.D. Vol. 88, pp. 29-59.
- ❖ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2024). *Hydrothermal vents*. Consultado el 15 de septiembre de 2024 en <https://oceanexplorer.noaa.gov/edu/materials/hydrothermal-vents-fact-sheet.pdf>
- ❖ Prol-Ledesma, R. M., y Canet, C. (2014). Evaluación y explotación de los recursos geotérmicos del océano. En A. Low-Pfeng & E. M. Peters-Recagno (Eds.), *La frontera final: El océano profundo* (pp. 11-30).
- ❖ Rodríguez-Uribe, M. C., Jarquín-González, J., Salazar-Silva, P., Chávez-Dagostino, R. M., Balzaretto Merino, N. (2024). Cumaceans (Crustacea, Peracarida) associated with shallow-water hydrothermal vents at Banderas Bay, Mexico. *Biodiversity Data Journal*, 12. <https://doi.org/10.3897/bdj.12.e139801>.
- ❖ Swallow, J. C. (1969). History of the exploration of the hot brine area of the Red Sea: DISCOVERY account. En *Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea: A geochemical and geophysical account* (pp. 3-9). https://doi.org/10.1007/978-3-662-28603-6_1
- ❖ Tarasov, V. G., Gebruk, A. V., Mironov, A. N., y Moskalev, L. I. (2005). Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: Two different phenomena? *Chemical Geology*, 224(1-3), 5-39. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.021>

Recepción: 2023/09/14.
Aprobación: 2024/08/25.
Publicación: 2025/01/13.