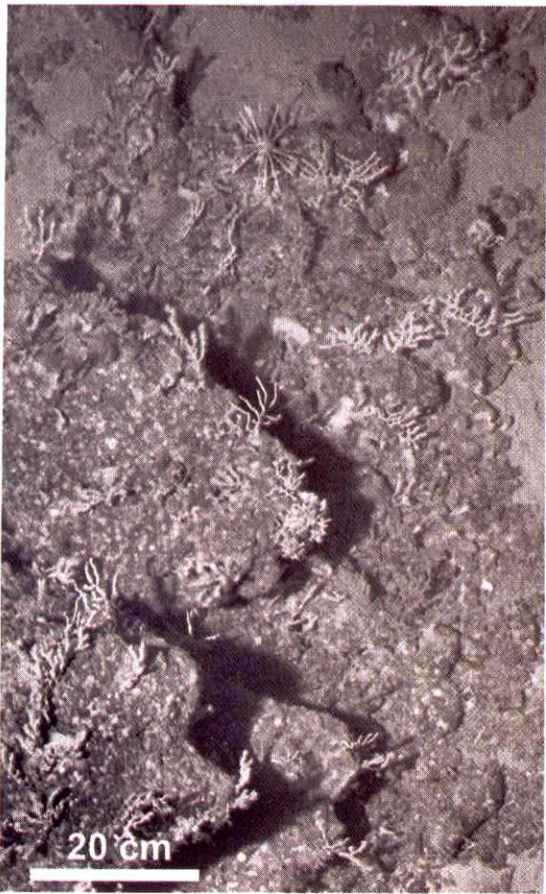


Fauna marina de los volcanes de fango en aguas gaditanas



Los únicos volcanes de fango que se conocen en aguas españolas se encuentran situados en el golfo de Cádiz y en el mar de Alborán, entre los 350 y los 1.100 metros de profundidad. Las emisiones de sedimentos y gases dan lugar a peculiares estructuras y hábitats, donde se asientan diferentes comunidades de invertebrados marinos que van cambiando según las sucesivas fases de formación de cada volcán.

por Alejandra Fernández, José L. Rueda, Emilio González, Carlos Farias,
Luis Miguel Fernández y Víctor Díaz del Río



Los volcanes de fango crean chimeneas y enlosados en los fondos marinos del golfo de Cádiz. Ambas estructuras son posteriormente colonizadas por esponjas, gorgonias (entre ellas las del género *Acanthogorgia*), corales negros (*Leiopathes glaberrima*), erizos de mar (*Cidaris cidaris*) e incluso cangrejos como *Bathynectes maravigna* (fotos: Victor Díaz del Río).

Los hábitats marinos profundos, así como sus comunidades animales asociadas, se conocen lógicamente peor que aquellos situados más cerca de nuestras costas. No sólo resultan menos accesibles, sino que la infraestructura y el material necesario para estudiarlos requieren inversiones mucho más costosas. Pero esos fondos marinos profundos albergan comunidades vivas que están adaptadas a unas condiciones ambientales muy peculiares. La profundidad, la disponibilidad de alimento o la depredación, las características del sustrato, las corrientes de fondo o las emanaciones de fluidos cargados de metano pueden promover la presencia de un tipo u otro de comunidad, al igual que ocurre en las zonas costeras. Desgraciadamente, estas comunidades profundas están también sometidas al imparable aumento de los impactos humanos, fundamentalmente ligados a la pesca de arrastre y a la minería. Así pues, es preciso conocer mejor su importancia a diferentes escalas para proponer medidas de gestión sostenible apoyadas en criterios científicos.

Al igual que ocurre en el medio terrestre, es posible encontrar relieves prominentes a esas profundidades, tales como cordilleras, fosas, depresiones, montes y colinas, llanuras e incluso volcanes. En el caso de los volcanes, pueden formarse asimismo en el lecho marino, ya sea por erupciones de lava o por emisiones de fango ligadas al ascenso de gases y material arcilloso que se encuentra confinado a gran presión en el subsuelo. Un volcán de fango puede formar montículos que van desde los dos o tres metros hasta decenas e in-

cluso centenares de metros de altura (1). Los volcanes de fango son parte integrante del paisaje terrestre en diferentes países (Ucrania, Rusia, Indonesia, Irán, Pakistán), pero también pueden encontrarse en el medio marino (golfo de México, Japón, Noruega, mar Mediterráneo). Los únicos conocidos dentro de nuestro territorio se encuentran en los fondos marinos del golfo de Cádiz y, más recientemente, han sido localizados también en el mar de Alborán.

Peculiaridades de los volcanes de fango

Los volcanes de fango se forman por el escape de gases y fluidos ricos en hidrocarburos, principalmente metano, procedentes de bolsas existentes en el subsuelo marino (2). Dicha emisión es dinámica, a través de diferentes periodos, por lo que pueden establecerse varios estadios durante la formación de un volcán (3).

El proceso comienza con la emisión activa de fluidos y brecha fangosa, de manera continua o intermitente, y la formación de un cono volcánico. El segundo periodo se caracteriza por la emisión moderada de fluidos y gases, que propicia el establecimiento de comunidades formadas por organismos quimiosintéticos. La actividad bacteriana juega un papel muy importante durante esta fase, no sólo por los organismos asociados a la emisión, sino también por la transformación del sustrato debido a las estructuras carbonatadas que se forman bajo el sedimento. La actividad bacteriana asociada a estas emisiones, concretamente la relacionada con la oxidación anaeróbica del metano, provoca la cohesión de

En la página anterior, bivalvo de la familia *Solemyidae* entre los sedimentos cargados de gas del volcán Anastasya (foto: Miguel García-Muñoz).



El buque oceanográfico *Emma Bardán* sale del puerto de Cádiz con rumbo al volcán Gazul en una de las campañas del proyecto Indemares/Chica (foto: Víctor Díaz del Río).

las partículas del sedimento, lo cual favorece la formación de esas estructuras carbonatadas.

Los sustratos duros pueden adoptar forma de chimenea, una estructura tubular de algunos metros de longitud por la que se canaliza la salida del gas en el interior de los sedimentos superficiales marinos. Es probable que la canalización del gas se vea favorecida por la existencia previa de madrigueras excavadas por invertebrados marinos, como, por ejemplo, gusanos poliquetos y crustáceos decápodos. Otro tipo de sustrato duro es el enlosado que se forma por la difusión horizontal de los gases en el subsuelo marino. Ambas estructuras pueden llegar a aflorar debido al efecto de las corrientes marinas profundas y



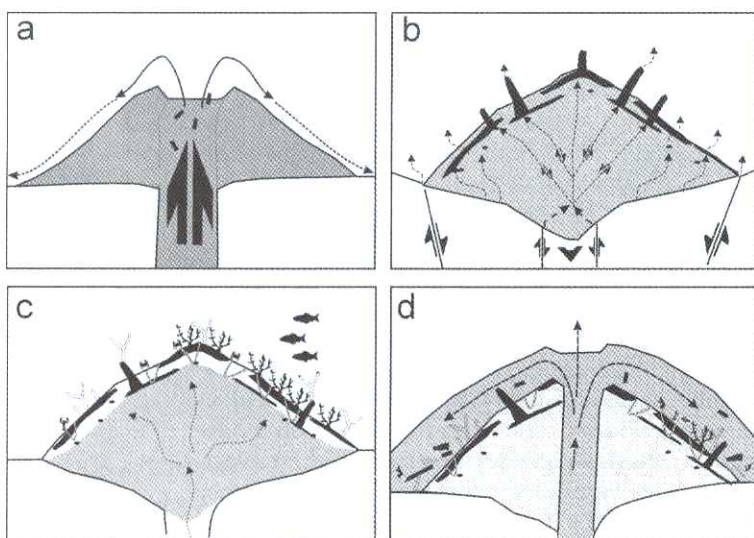
modifican radicalmente el fondo marino, donde los sedimentos blandos (arena y fango) son sustituidos por enlosados y chimeneas que otras especies sésiles pueden colonizar.

El volcán entra posteriormente en un periodo de latencia, durante el cual se reduce aún más la emisión de gas y fango. La mayor disponibilidad de sustratos duros favorece ahora la colonización de organismos sin bacterias quimiosimbiotes, lo que produce un cambio en los tipos de hábitats y las comunidades asociadas. En este estadio el volcán tiene ya una alta complejidad estructural y sedimentológica, por lo que puede albergar tanto especies asociadas directamente a las emisiones de gases, como también otras (sésiles y vágiles) que aprovechan los sustratos duros como lugares para asentarse y desarrollar sus colonias y poblaciones. De este modo se incrementa aún más la heterogeneidad espacial. Un cuarto estadio estaría representado por la posible reactivación del volcán, con nuevas expulsiones de gases y fango, que pueden extrudir por canales secundarios formados como consecuencia del colapso y la subsidencia de la estructura anterior (Cuadro 1).

Los hábitats formados por los volcanes de fango se han tipificado con el código 1180 de la Red Natura 2000 como *Estructuras submarinas producidas por las emanaciones de gases* (4). Tanto la Red Natura 2000 como las Zonas Especiales de Conservación se designan de acuerdo a los criterios establecidos por la Directiva de Hábitats, de manera que el estudio de los volcanes de fango es muy importante, no ya a escala local, sino también europea. El objetivo final es asegurar la conservación de muchas de las especies y hábitats que se encuentran sometidos a un mayor grado de amenaza en Europa.

Cuadro 1

Fases durante la formación de un volcán de fango



a) Expulsión de fluidos y fango.
c) Estado latente.

b) Emisiones moderadas.
d) Reactivación del volcán.

Fuente: referencia bibliográfica (3).

El Hábitat 1180 en el golfo de Cádiz

El golfo de Cádiz es una de las pocas zonas marinas de Europa, y probablemente la única de España, donde se ha constatado la existencia del Hábitat 1180. De hecho, hay una gran cantidad de volcanes de fango en sus fondos marinos. Dentro del reciente proyecto *Indemares - Chimeneas de Cádiz* se están



estudiando con mayor detalle las comunidades bentónico-demersales asociadas a estos volcanes de fango. En concreto, se trata de identificar y estudiar sus hábitats y comunidades para determinar cuáles se encuentran en peligro o son más vulnerables a los usos del medio marino.

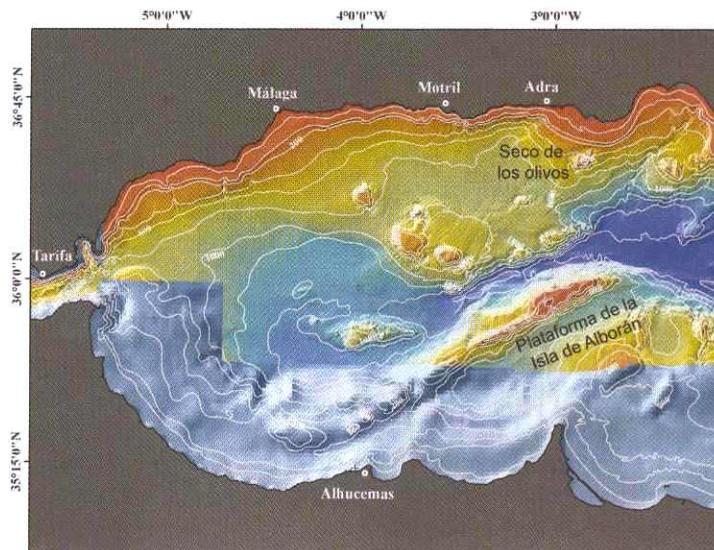
Esta zona del golfo de Cádiz es una de las diez seleccionadas por el proyecto *Life+ Indemares: inventario y designación de la Red Natura 2000 en áreas marinas del Estado español* (Cuadro 2), cuyo principal objetivo es contribuir a la protección y al uso sostenible de la biodiversidad marina mediante la identificación

Trabajo a bordo durante las campañas del proyecto Indemares/Chica. 1: Tratamiento de datos recogidos por sondeo. 2: Vaciado de la draga de arrastre bentónico. 3: Preparación de la draga *box-corer*. 4: Izado de una cámara fotográfica submarina. 5: Medición de especies recogidas en una captura (fotos: Miguel García-Muñoz y Francisco J. López).

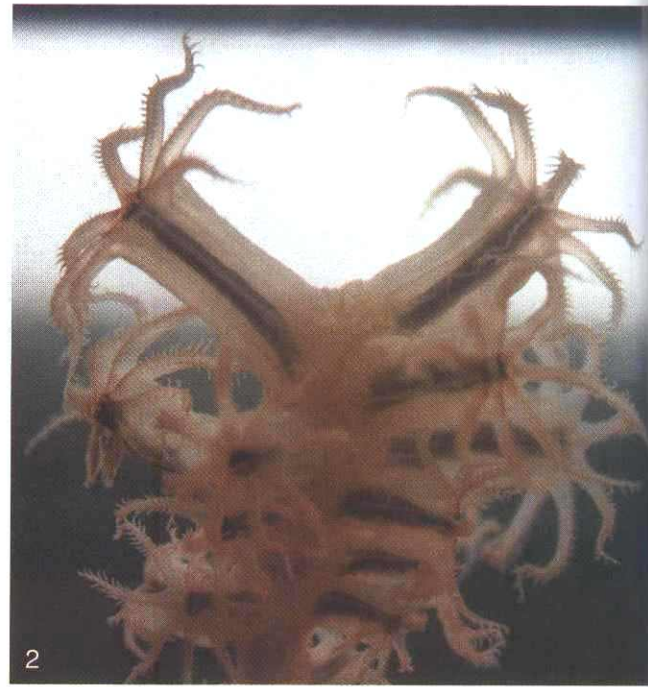
Cuadro 2

Zonas marinas españolas cubiertas por el proyecto Indemares

- Cañón de Avilés (Asturias)
- Banco de Galicia
- Chimeneas de Cádiz
- Seco de los Olivos (Almería)
- Isla de Alborán y conos volcánicos
- Delta del Ebro-Islands Columbretes (Tarragona- Castellón)
- Cañón de Creus (Gerona)
- Canal de Menorca
- Banco de la Concepción (Canarias)
- Sur de Fuerteventura



Mapa con algunas regiones marinas cubiertas por el proyecto Indemares en el Mediterráneo español. En concreto, el Seco de los Olivos, frente a Adra (Almería), y la plataforma de la isla de Alborán.



de espacios valiosos para la Red Natura 2000. El proyecto está coordinado por la Fundación Biodiversidad y en él participan instituciones públicas, centros de investigación y organizaciones no gubernamentales. Uno de estos centros de investigación es el Instituto Español de Oceanografía (IEO).

Los volcanes de fango encontrados en aguas españolas se reparten por una gran superficie dentro del golfo de Cádiz y ocupan un amplio rango de profundidades (Cuadro 3). Ambos hechos suponen una dificultad añadida a su estudio en comparación con otras zonas cubiertas por el proyecto Indemares. En

efecto, hasta la fecha se han encontrado más de diez volcanes de fango entre los 350 y los 1.100 metros de profundidad. Estas diferencias batimétricas favorecen la presencia de una gran diversidad de ambientes, que se refuerzan por las variadas características sedimentológicas y el estadio evolutivo de cada volcán. Los más someros, aquellos situados a menos de 500 metros de profundidad, han sido descubiertos recientemente y entre ellos se encuentran los llamados Gazul y Albolote. Los dos tienen características peculiares con respecto a los más profundos, ya que están menos sometidos a la influencia de una corriente de agua que proviene del mar Mediterráneo, más cálida y salina.

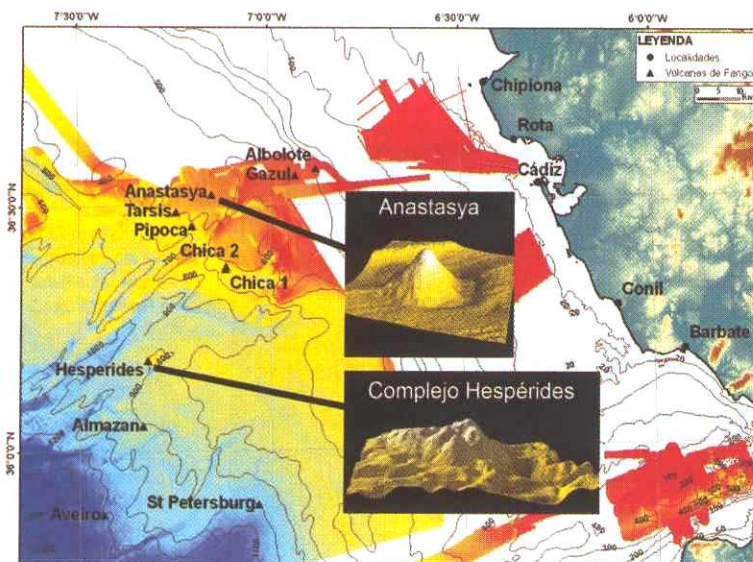
Otro grupo de volcanes se localiza dentro del caladero de pesca conocido localmente como El Laberinto, entre los 500 y los 700 metros de profundidad. Esta zona engloba también el denominado Triángulo de "Ver Mudás", a causa de sus abundantes cigalas. Los volcanes de El Laberinto han recibido los nombres de Anastasya, Tarsis y Pipoca, por un lado, y Chica 1 y Chica 2, por otro.

Los volcanes del campo Hespérides están situados a mayor profundidad, fuera del ámbito de los caladeros de pesca, y están constituidos por el Complejo Hespérides, Almazán, Aveiro y San Petersburgo.

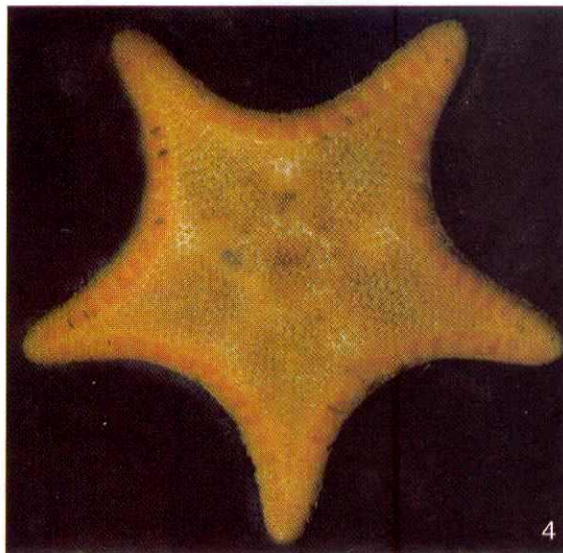
Muchos de estos volcanes se han muestreado durante las tres campañas oceanográficas Indemares/Chica realizadas en los dos últimos años a bordo de los buques oceanográficos *Emma Bardán* y *Vizconde de Eza*, pertenecientes a la Secretaría General del Mar, y *Cornide de Saavedra*, adscrito a la flota del IEO. Durante estas campañas se han combinado diferentes métodos (ecosonda multihaz y TOPAS, *beam trawl* o bou de vara, draga de arrastre bentónico, *box-corer*, cámara video-fotográfica submarina) para caracterizar el fondo marino y recoger la mayor

Cuadro 3

Situación de los volcanes de fango en el golfo de Cádiz



El volcán de fango Anastasya y el Complejo Hespérides aparecen reproducidos en vistas tridimensionales.



Hemeroteca

Quercus 293 (Julio 2010)
 Ref. 5301293 / 3'90 €
 · Especies africanas en las costas
 de Andalucía. José L. Rueda y
 otros autores.

Insertamos un boletín de pedidos
 en la página 77.

cantidad posible de información sobre este medio y sus especies a todas las escalas de tamaño, desde grandes tipos de hábitats hasta microhábitats y desde macrofauna hasta microfauna. Para próximas campañas también se ha contemplado el uso del ROV *Liropus* del IEO, lo cual aportará una nueva dimensión a la distribución y composición de los hábitats. Este ROV (Remoted Operated Vehicle, o vehículo operado a distancia) es un robot submarino no tripulado que permanece conectado al barco por medio de un largo cable y permite tanto la transmisión de imágenes en tiempo real como la toma de muestras.

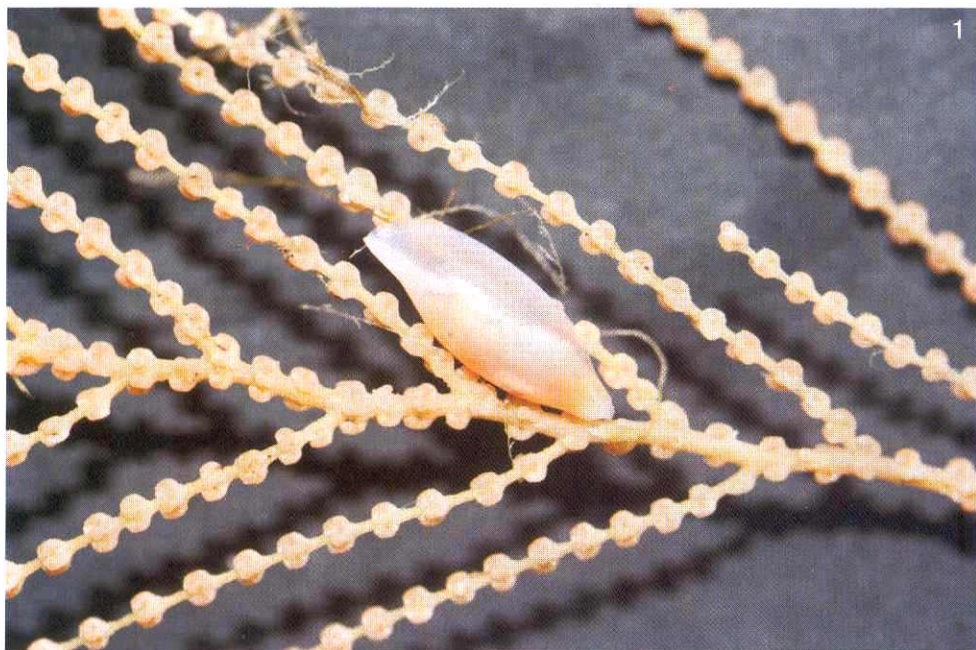
Hasta la fecha se han encontrado más de seiscientas especies, pero la lista sigue aumentando a medida que se estudian las muestras recolectadas durante las campañas anteriores y los ejemplares se someten al escrutinio de especialistas en los diferentes grupos faunísticos. Una de las principales ventajas científicas del proyecto es que el golfo de Cádiz incluye una gran variedad de volcanes de fango en diferentes fases evolutivas, lo cual permite aportar información sobre el desarrollo de las comunidades biológicas a lo largo de este proceso.

Hábitats y comunidades de los volcanes de fango

Las comunidades faunísticas asociadas a los volcanes de fango en el golfo de Cádiz han sido menos estudiadas que sus aspectos geomorfológicos y sedimentológicos (2). Muchos de los estudios faunísticos previos se realizaron en los volcanes de Marruecos y Portugal, ya que son más activos. Las comunidades animales ligadas a las emisiones son bastante peculiares debido a que existe una estrecha asociación

entre las propias expulsiones y la biología de estas especies (1). Generalmente son comunidades de invertebrados que albergan bacterias simbiotas involucradas en la captación de energía a partir de los gases emanados. Estos invertebrados suelen ser de pequeño tamaño (centímetros) e incluyen gusanos poliquetos frenulados (anteriormente incluidos dentro de los pogonóforos) como los del género *Siboglinum* y otros de nombre tan curioso como *Bobmarleya gaudensis*, debido a que su penacho tentacular recuerda a las rastas del famoso cantante jamaicano. También hay bivalvos de los géneros *Solemya*, *Acharax*, *Lucinoma* y *Bathymodiolus* e incluso crustáceos decápodos como *Vulcanocalliax*, que construye galerías en los sedimentos desprovistos de oxígeno (anóxicos). Debido a la actividad bacteriana y a la formación de chimeneas y enlosados, los volcanes de fango pueden, con el tiempo, conformar otros tipos de hábitats gracias a los organismos coloniales que se asientan en estos sustratos y aportan una mayor complejidad a la comunidad.

Fauna de fondos blandos en los volcanes de fango del golfo de Cádiz.
 1: El gasterópodo *Ampulla priamus*.
 2: Pólipos del pennatuláceo *Kophobelemnon stelliferum*.
 3: El decápodo *Goneplax rhomboides*.
 4: La estrella de mar *Peltaster placenta*.
 5: Esponjas del género *Pheronema* (fotos: Miguel García-Muñoz y Serge Gofas).



En paralelo a las diferentes fases que atraviesa un volcán se suceden varios tipos de hábitats y de comunidades animales asociadas. En un estado inicial, las comunidades bentónicas serían las típicas de los fondos fangosos del golfo de Cádiz, como los campos de cnidarios pennatuláceos (*Funiculina*, *Pennatulula*, *Kophobelemnion*), que se alternarían con los corales bambú *Isidella elongata* y ciertas esponjas de fondos blandos como *Thenea muricata* o *Pheronema carpenteri*. Otros integrantes serían los decápodos que excavan galerías en estos sustratos, como la cigala (*Nephrops norvegicus*) o *Goneplax rhomboides*, además de algunos moluscos como *Abra longicallus* o *Ampulla priamus*, gusanos poliquetos del género *Spiochaetopterus* y las estrellas de mar *Brisisingella coronata* y *Peltaster placenta*.

En volcanes con emisiones más activas de gas se daría una combinación de especies ligadas a fondos fangosos (entre otras, cnidarios pennatuláceos y el molusco *Abra longicallus*) con otras directamente asociadas a dichas emisiones, como los poliquetos

rante la cual disminuyen considerablemente las emisiones de gas y los sustratos duros en forma de chimeneas y enlosados afloran por efecto de las corrientes marinas. Todo ello conlleva una serie de modificaciones en la comunidad bentónico-demersal que responde a cambios en la complejidad estructural y geoquímica del hábitat. Se pasa, de este modo, de una comunidad con organismos asociados a las emisiones de gases a otra dominada por organismos sésiles filtradores. Esta última estaría compuesta por esponjas del género *Petrosia* y de la especie *Asconema setubalense*, corales de aguas frías (*Madrepora oculata*), corales negros (*Leiopathes glaberrima*), gorgonias (*Callogorgia verticillata*) y otras especies de menor tamaño como gasterópodos ovúlidos (ligados a las gorgonias) o del género *Emarginula* (ligados a las esponjas). Otros integrantes serían los bivalvos asociados a sustratos duros (*Asperarca nodulosa*, *Limopsis angusta*), braquiópodos como *Gryphus vitreus* o *Terebratulina retusa*, equinodermos crinoideos del género *Leptometra* y pequeños poliquetos serpúlidos, que, entre

otras muchas especies, aprovechan los microhábitats creados por chimeneas y enlosados. En esta fase latente aumentan las diferencias entre las dos comunidades del volcán, por un lado las típicas de un arrecife y, por otro, las de los fondos blandos adyacentes (5).

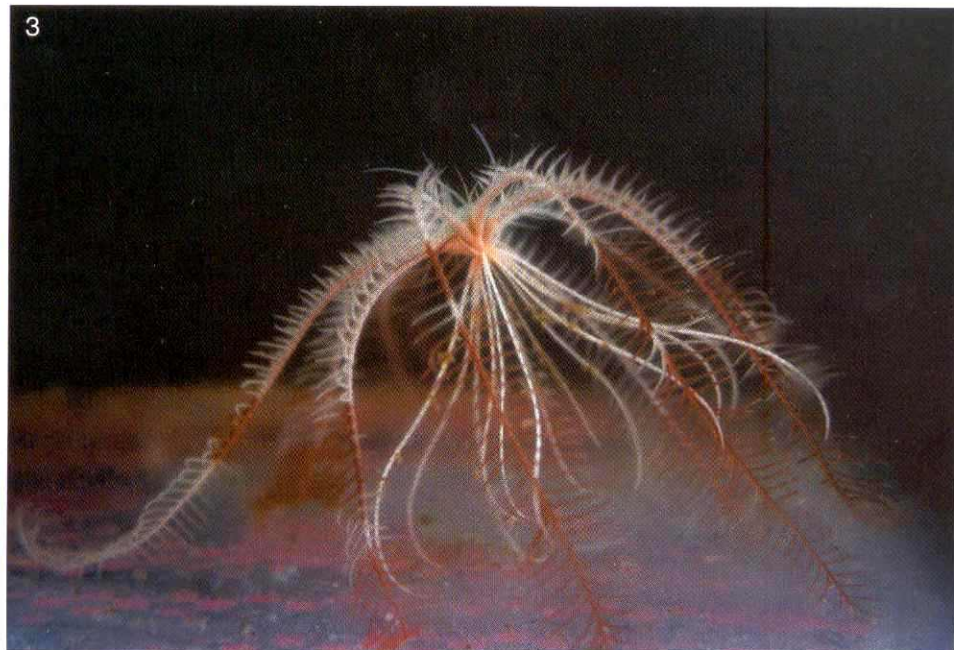
Si el volcán de fango se reactiva, las especies filtradoras saldrían perjudicadas, no sólo por la expulsión de fango, que sepulta a las de vida sésil, sino también por la liberación de gases al sedimento y a la columna de agua, lo cual muy probablemente interferiría de forma decisiva en su fisiología y biología.

En conclusión, los volcanes de fango del golfo de Cádiz son sistemas dinámicos que pueden promover comunidades que sólo se encuentran en este tipo de ambientes (especies quimiosintéticas), pero también

Los volcanes de fango promueven comunidades que sólo se desarrollan en este tipo de ambientes, pero también favorecen el establecimiento de otras especies que incrementan la biodiversidad local.

frenulados del género *Siboglinum*, los bivalvos de la familia *Solemydae* (*Acharax* y *Solemya*) y los decápodos de la familia *Callinassidae*. Estas comunidades pueden ser muy heterogéneas debido a las características geoquímicas del sedimento y, sobre todo, al contenido en gases.

Como ya hemos visto, en una fase más avanzada los volcanes podrían entrar en un periodo latente, du-



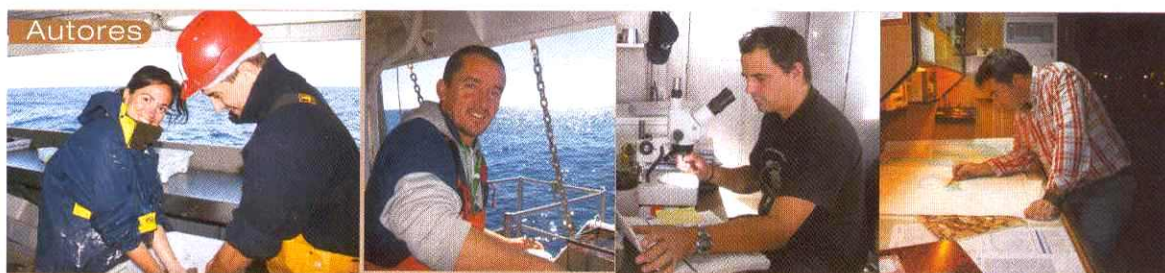
Fauna de fondos duros o mixtos en los volcanes de fango del golfo de Cádiz. 1: El gasterópodo *Simnia nicaeensis* sobre la gorgonia *Callogorgia verticillata*. 2: Pótipos del coral negro *Leiopathes glaberrima*. 3: Un crinoideo del género *Leptometra* (fotos: Miguel García-Muñoz y Serge Gofas).

favorecer con el tiempo el establecimiento de otras (corales de aguas frías, campos de esponjas) que incrementan la biodiversidad local. Todo ello en un marco de confluencia faunística, con especies procedentes de diferentes regiones biogeográficas (África, Mediterráneo, Atlántico Norte) que comparten los mismos tipos de hábitats, al igual que ocurre en aguas someras del sur peninsular. Así que merece la pena prestar atención a estos hábitats, a sus comunidades y a sus especies, para poder establecer unas medidas de gestión sostenible que den continuidad a los recursos pesqueros en el golfo de Cádiz. Pero, al mismo tiempo, proteger también su biodiversidad

ante el imparable incremento de los impactos por actividades humanas. ✪

Bibliografía

- (1) Vanreusel, A. y otros autores (2009). Biodiversity of Cold Seep ecosystems along the European margins. *Oceanography*, 22 (1): 118-135.
- (2) Díaz del Río, V. y otros autores (2003). Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Marine Geology*, 195: 177-200.
- (3) León, R. y otros autores (2007). Sea-floor features related to hydrocarbon seeps in deepwater carbonate-mud mounds of the Gulf of Cádiz: from mud flows to carbonate precipitates. *Geo-Marine Letters*, 27: 237-247.
- (4) European Commission DG Environment (2007). Interpretation manual of European Union habitats. Disponible en la página web http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/2007_07_im.pdf
- (5) Rueda, J.L. y otros autores (enviado). Spatial differences of macrofaunal assemblages between a mud volcano and its adjacent bottoms within the Gulf of Cádiz (South-western Spain). *Deep Sea Research I*.



Los seis autores de este artículo en diferentes momentos de su trabajo. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Alejandra Fernández y Emilio González, José Luis Rueda, Carlos Fariás, Luis Miguel Fernández y Victor Díaz del Río.

Alejandra Fernández Zambrano dedicó su tesis de máster, realizada en el centro Oceanográfico de Málaga (IEO), a las comunidades bentónico-demersales de los volcanes de fango, dentro del proyecto Indemares/Chica. También ha participado en otros proyectos sobre invertebrados terrestres y acuáticos impulsados por la Universidad de Granada.

José Luis Rueda Ruiz trabaja en el Centro Oceanográfico de Málaga (IEO) dentro del proyecto Indemares/Chica, pero ha participado asimismo en otros estudios sobre comunidades bentónicas de hábitats tan diversos como montes submarinos, praderas de fanerógamas, manglares y fondos blandos.

Emilio González García colaboró en numerosas campañas científicas de carácter multidisciplinar (bentónico-demersal) con el IEO y en la actualidad trabaja en el Centro Oceanográfico de Cádiz dentro del proyecto Indemares/Chica, centrado en un estudio sobre las comunidades bentónicas de los volcanes de fango en el golfo de Cádiz.

Carlos Fariás Rapallo trabaja en diferentes proyectos del Centro Oceanográfico de Cádiz (IEO). Dentro del proyecto Indemares/Chica, se ocupa de identificar peces e invertebrados marinos, particularmente esponjas.

Luis Miguel Fernández Salas es doctor en Ciencias del Mar y especialista en técnicas geofísicas de alta resolución. Trabaja en el grupo de Geociencias Marinas del Centro Oceanográfico de Málaga (IEO). Ha sido jefe de numerosas campañas, entre otras algunas del proyecto Indemares/Chica.

Victor Díaz del Río Español es geólogo marino y está integrado en el grupo de Geociencias Marinas del Centro Oceanográfico de Málaga (IEO). Investigador principal del proyecto Indemares/Chica, su interés científico se centra en el estudio de los procesos relacionados con la expulsión de fluidos cargados de metano en contextos tectónicos de convergencia de placas, como ocurre en el golfo de Cádiz.

Los autores de este artículo forman un grupo de doctores y licenciados en diferentes disciplinas científicas (Biología, Ciencias del Mar, Geología) que se dedica a desarrollar el proyecto interdisciplinar Indemares/Chica dentro del Instituto Español de Oceanografía (IEO).

Dirección de Contacto: José L. Rueda · Centro Oceanográfico de Málaga · Instituto Español de Oceanografía · Puerto Pesquero, s/n · 29640 Fuengirola · Málaga · Correo electrónico: jose.rueda@ma.ieo.es

Agradecimientos

A todos los participantes en las campañas Indemares/Chica. Especialmente, a Gerardo Bruque, Desiré Palomino y Ricardo León, por el diseño de algunas figuras; a Miguel García Muñoz y Serge Gofas, por las fotografías; y a los capitanes y las tripulaciones de los buques oceanográficos *Emma Barden*, *Corvide de Saavedra* y *Vizconde de Eza*, por su profesionalidad durante los muestreos.