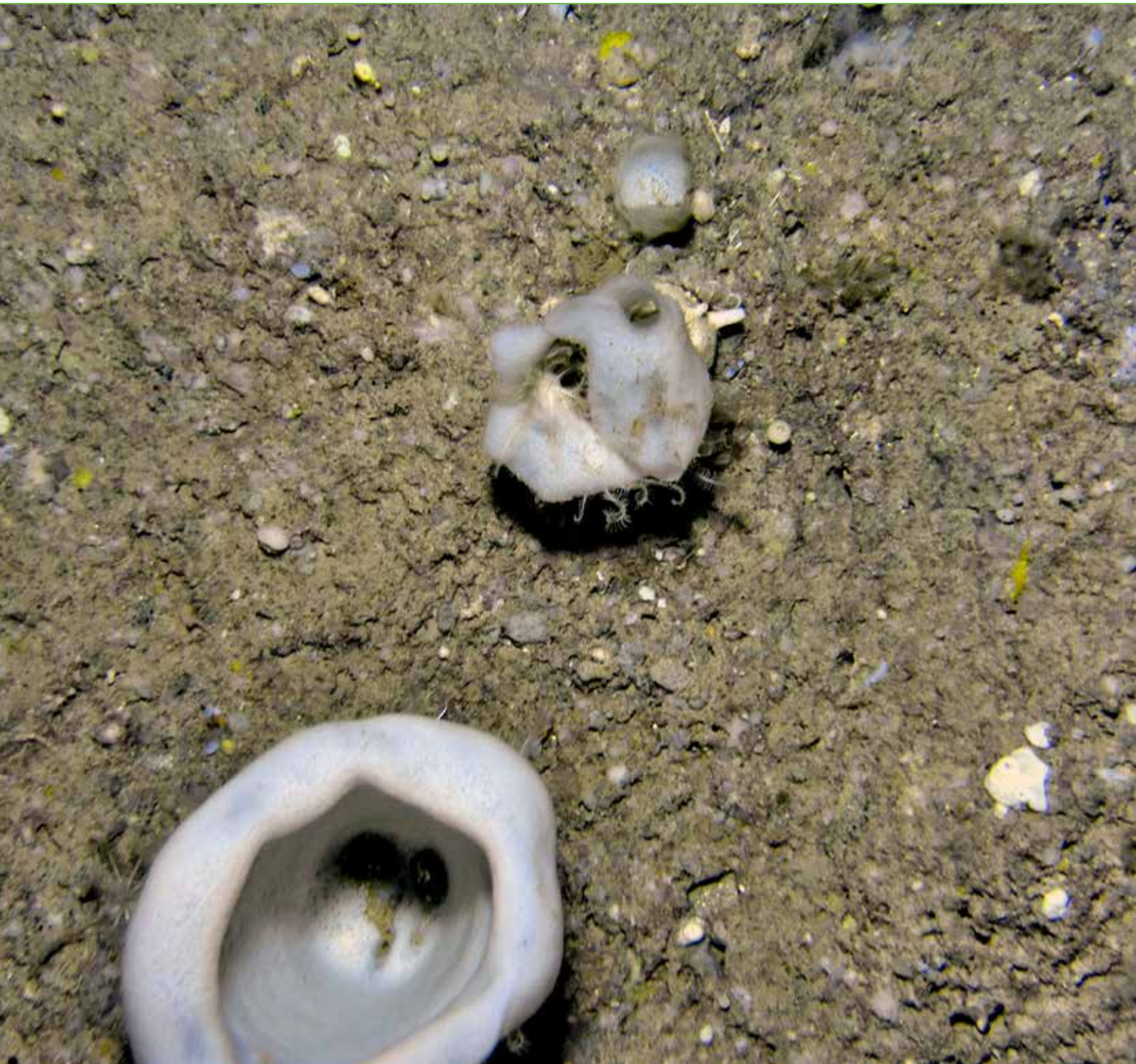


# Volcanes de Fango del Golfo de Cádiz

Áreas de estudio del proyecto LIFE+ INDEMARES



**Fotografía de Portada:** La esponja cristal (*Asconema setubalense*) sobre sustrato carbonatado (453 metros de profundidad). © IEO - GEMAR.

**Autores de las fotografías de esta publicación:**

IEO (Instituto Español de Oceanografía).

IEO - GEMAR. (Grupo de Geociencias Marinas del Instituto Español de Oceanografía).

ALNITAK.

CIRCE.

SEO/BirdLife.

**Edición, Diseño y Maquetación:** ERENA, Consultoría y Divulgación Ambiental, S.L. • Imaginate con Arte S.L.

**Impresión:** En papel Symbol Freeliflife Satin de 150grs. en Interior y Symbol Freeliflife Satin de 350grs. en portada.



Impreso en Madrid, 2014.

Ejemplar Gratuito, Prohibida su venta.



INDEMARES



# Volcanes de Fango del Golfo de Cádiz

Áreas de estudio del proyecto LIFE+ INDEMARES



**Autores:** Víctor Díaz del Río, Gerardo Bruque, Luis M. Fernández-Salas, José L. Rueda, Emilio González, Nieves López, Desirée Palomino, Francisco J. López, Carlos Farias, Ricardo Sánchez, Juan T. Vázquez, Cinja C. Rittierott, Alejandra Fernández, Pablo Marina, Vanessa Luque, Tatiana Oporto, Olga Sánchez, Miguel García, Javier Urra, Patricia Bárcenas, M<sup>a</sup> Paz Jiménez, Ricardo Sagarminaga, Jose M. Arcos.

**Coordinación:** Fundación Biodiversidad (Ignacio Torres, Víctor Gutiérrez, Zaida Calvete, Nazaret Pérez, Álvaro Alonso y David Peña).

**Colaboradores:** Serge Gofas, Carmen Salas, Enrique García-Raso, Pablo J. López, César Megina, Eduardo López, Juan Moreira, Guillermo San Martín, Maite Aguado, Marc Elaume, Oscar García, Ángel Mateo, Miriam Sayago, Antonio Torres, Alfonso Alsina, Gustavo A. De Andrés, Jerónimo Hernández, Jesús Mercado, Marina Delgado, Juan Gil, Candelaria Burgos, César Luis Alcalá, María Cruces, Beatriz de Willemin, Víctor Larios, Silvia Rodríguez, J. Daniel González-Aller, Francisco Javier Monroy, Carmen Marina Goicoechea, José Enrique García, Laura Pérez, Blanca Alfaro, Sergio Barro, Pilar Mata, Elena Pérez, Raúl Merinero, Daniel Gutiérrez, Juan Bécares, Marcel Gil, Beneharo Rodríguez, Belén Fernández-Gil, Mónica Campillos, Ricardo Sagarminaga, Ana Tejedor, Lorenzo Bramanti.

Esta monografía ha sido resultado de los estudios científicos del proyecto LIFE+ INDEMARES, cofinanciado por la Comisión Europea, y se ha basado en los estudios realizados por el Instituto Español de Oceanografía (IEO), Alnitak y SEO/BirdLife.

**Como debe citarse esta publicación:** Díaz del Río, Víctor, et al. *Volcanes de fango del golfo de Cádiz*, Proyecto LIFE + INDEMARES. Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2014.

**Agradecimientos:** Capitanes y tripulaciones de los buques oceanográficos "Emma Bardán", "Cornide de Saavedra", "Vizconde de Eza" y "Ramón Margalef". M<sup>a</sup> José Navarro, Jefa de Gestión del Centro Oceanográfico de Málaga. José L. Vargas, en sus funciones de coordinación de relaciones bilaterales con la FB. Carmen Peñas, eficaz supervisora de gastos.

SEO/BirdLife quiere agradecer el apoyo del IEO para la realización de censos de aves marinas en campañas oceanográficas ajenas a INDEMARES, en particular las campañas ARSA, así como al personal científico y tripulaciones implicadas. En particular Ignacio Sobrino.

Las campañas de marcajes en las Islas Chafarinas contribuyeron a caracterizar el área del golfo de Cádiz y recibieron el apoyo del Organismo Autónomo de Parques Nacionales (Javier Zapata), así como del personal del Refugio Nacional de Caza de las Islas Chafarinas (especialmente a los vigilantes Gonzalo Martínez, Javier Díaz y Ángel Sanz) y del personal militar destacado en la isla Isabel II. La Estación Biológica de Doñana (EBD-CSIC) colaboró asimismo en los marcajes (Manuela Forero, Joan Navarro, Isabel Afán, Laura Cardador, Fran Ramírez).

# Índice

---

1. RESUMEN EJECUTIVO .....	7
2. INDEMARES, un hito en la conservación del medio marino .....	15
3. METODOLOGÍA Y EQUIPAMIENTOS: ¿Cómo se estudian los fondos marinos? .....	21
4. TECTÓNICA SALINA Y ACCIÓN MICROBIANA: el origen de los singulares relieves submarinos.....	31
5. LA CONFLUENCIA DE LAS MASAS DE AGUA ATLÁNTICA Y MEDITERRÁNEA: un éxito para la biodiversidad .	43
La interacción de las masas de agua con el fondo.....	45
La corriente mediterránea en el campo somero: erosión versus sedimentación.....	47
6. LA IRRUPCIÓN DE LA VIDA SUBMARINA DESENCADENADA POR LA ACTIVIDAD MICROBIANA....	49
Hábitats .....	50
Hábitats relacionados con estructuras producidas por escape de gases .....	52
Hábitats sobre piso batial rocoso y otros sustratos duros .....	58
Hábitats sobre piso batial sedimentario.....	63
Biodiversidad.....	70
7. LA VISIBLE HUELLA HUMANA.....	87
La pesca de arrastre de fondo como principal amenaza para la biodiversidad .....	88
Otras actividades humanas que dejan huella.....	93
8. UN EXCEPCIONAL MOSAICO DE HÁBITATS .....	97
Hábitat 1180. Estructuras submarinas producidas por el escape de gases .....	97
Hábitat 1170. Arrecifes.....	101
Propuesta 1: “Hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios” .....	104
Aves marinas .....	106
9. CONSECUENCIAS DE LA PROTECCIÓN Y POSTERIOR GESTIÓN DEL ÁREA.....	107
10. LA RED NATURA 2000, SUS HÁBITATS Y ESPECIES. BREVE RESEÑA SOBRE LEGISLACIÓN .....	111
11. BIBLIOGRAFÍA.....	117





**Pablo Saavedra Inaraja**

**Director General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar  
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente**

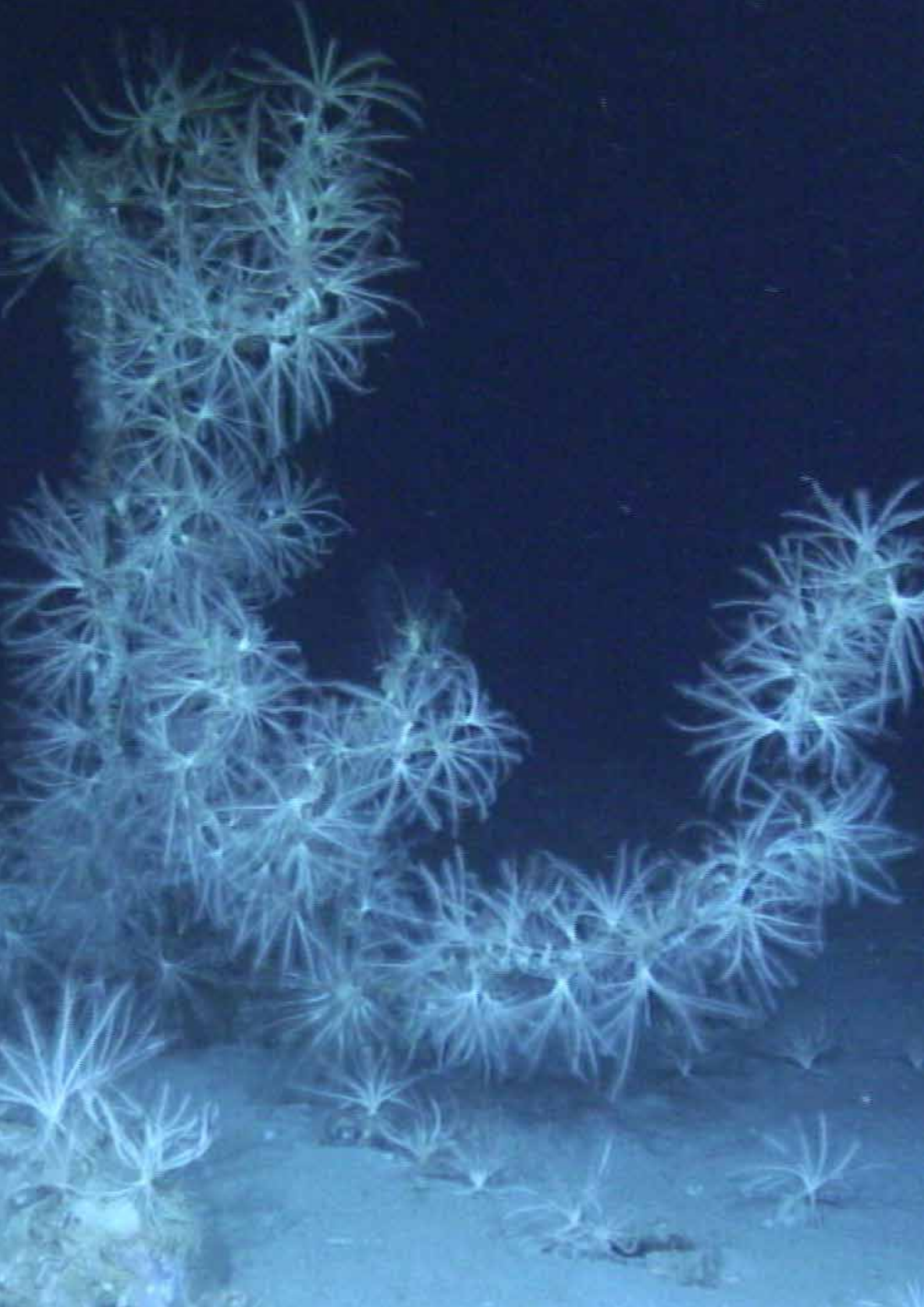
España es uno de los países europeos con mayor biodiversidad marina, rodeado de un extenso mar repleto de riquezas naturales y, sin embargo, es un gran desconocido para la mayor parte de la sociedad. Con casi el doble de superficie de la terrestre, los mares españoles albergan más de 10.000 especies, algunas de ellas emblemáticas, que habitan y surcan nuestras aguas, y que hacen de nuestro medio marino un lugar tan complejo como bello y de gran fragilidad.

Proteger este rico patrimonio marino y establecer las medidas de gestión oportunas para preservarlo debe ser uno de nuestros objetivos prioritarios. Con la integración de nuestros espacios naturales en la Red Natura 2000 europea no solo estamos garantizando la protección de sus recursos, sino aportando además un valor añadido para las actividades que en ellos se desarrollan, para que puedan ser sostenibles en el tiempo.

El proyecto LIFE+ INDEMARES ha supuesto un hito para la conservación de nuestra biodiversidad marina, proporcionando las bases científicas para la ampliación de la Red Natura 2000 en el ámbito marino, a través del estudio e identificación de diez espacios de alto valor ecológico que han venido a sumarse a El Cachucho, el primer Área Marina Protegida de España.

Para proteger, primero es necesario conocer. Proyectos como INDEMARES hacen posible avanzar en el conocimiento de nuestros océanos, gracias a la enorme labor de investigación científica y el gran esfuerzo de coordinación desarrollado entre las partes implicadas. Instituciones de referencia en el ámbito de la gestión, la investigación y la conservación del medio marino han aunado sus fuerzas para estudiar lo que esconden casi cinco millones de hectáreas, repartidas en diez áreas alejadas de las costas y distantes entre sí, dando lugar al proyecto más ambicioso llevado a cabo en España en materia de conservación marina.

El resultado no ha podido ser más ilustrativo, con la propuesta de declaración a la Comisión Europea de 10 nuevos Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y la declaración por España de 39 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Todo ello para incrementar la protección de nuestros mares desde menos del 1% hasta más del 8%, en dirección al cumplimiento del compromiso internacional del Convenio de Diversidad Biológica de proteger el 10% de las regiones marinas del mundo. Y, además, esta protección se realiza a través de la designación de lugares Red Natura 2000, la gran red ecológica europea que busca la conservación de los espacios más singulares del viejo continente con la compatibilización y el desarrollo de las actividades humanas que en ellos se desarrollan. Gracias al proyecto LIFE+ INDEMARES, hoy conocemos mucho mejor nuestros mares y somos más conscientes del enorme patrimonio natural que se esconde en sus profundidades. Más de cien campañas oceanográficas han permitido sacar a la luz la riqueza sumergida en estas zonas marinas, que deseamos dar a conocer al ciudadano a través de estas páginas, descubriendo al lector sus aspectos más sorprendentes y valiosos.





# 1 Resumen ejecutivo

El golfo de Cádiz se sitúa en el sector oriental del océano Atlántico norte, al suroeste de la península ibérica. El estrecho de Gibraltar es su límite oriental, que le separa del mar Mediterráneo. La zona denominada “los volcanes de fango del golfo de Cádiz” se localiza en un rango batimétrico comprendido entre 300 y 1.200 metros, emplazándose sobre el talud continental superior y medio del margen continental suribérico. En su fisiografía destacan los relieves irregulares, especialmente accidentados en algunos sectores. La batimetría, dominada por isolíneas convexas aguas afuera, refleja una morfología impuesta por la dinámica marina, en la que se combinan los surcos y las crestas –pertenecientes a las dorsales diapíricas de génesis estructural–, así como canales y cañones submarinos. La disposición y naturaleza de estos relieves pone de manifiesto la existencia de una estrecha relación entre la neotectónica, el diapirismo (vinculado a la tectónica salina) y el régimen de circulación de las masas de agua. En la composición de los depósitos que edifican el margen continental predominan los sedimentos finos y muy finos.

El golfo de Cádiz está fuertemente influenciado por el intercambio de masas de agua que se produce a través del estrecho de Gibraltar: un flujo superficial, de procedencia atlántica, penetra en el mar Mediterráneo, mientras que otro flujo profundo, de origen mediterráneo, circula bajo el anterior en dirección al océano Atlántico. La corriente que transporta la masa de agua mediterránea de salida (*Mediterranean Outflow Water*, MOW) es la que ejerce una mayor influencia en los fondos de la zona contemplada como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) al circular en contacto con la superficie del fondo marino, en la denominada superficie de fricción. Su interacción con el fondo provoca una hidrodinámica muy particular a menor escala, produciéndose subdivisiones del flujo principal a medida que la energía de la corriente se va disipando con la profundidad.

Las estructuras denominadas volcanes de fango, una de las de mayor singularidad y trascendencia en el contexto ecosistémico del golfo de Cádiz, son relieves de geometría preferentemente cónica, que se forman como consecuencia del proceso de expulsión de fluidos cargados en gas procedentes del fondo marino. Este proceso provoca cambios sustanciales en la superficie de los depósitos, modificando notablemente los relieves preexistentes y generando nuevas estructuras de naturaleza carbonatada. De esta manera, dichos fondos se transforman en superficies consolidadas o de naturaleza mixta, compuestas por fragmentos de roca carbonatada de neoformación facilitada por la actividad bacteriana consumidora del metano.

El rasgo más característico de la superficie del fondo es la diversidad de relieves erosivos vinculados a la acción de la MOW, así como al proceso activo de expulsión de fluidos cargados en gas. Esta circunstancia provoca una alta diversidad biológica en los ecosistemas bentónicos, que determinan el desarrollo de diferentes hábitats profundos de gran importancia natural. Desde esta perspectiva, la biodiversidad estaría ligada, fundamentalmente, al amplio rango batimétrico en el que se presenta el fenómeno de la expulsión de fluidos cargados en metano (300-1.200 metros de profundidad), a la variabilidad sedimentológica de los depósitos sedimentarios (fango, arenas gruesas, gravas, fondos duros, etc.), a su diversidad geomorfológica (cumbres de volcanes, depresiones, canales, fondos aplacerados, etc.) y a la compleja hidrología que domina la zona que, a la postre, es uno de los factores que interviene en el proceso de expulsión.

En la superficie de varios focos de emisión se ha observado la presencia de sedimentos saturados en metano que acogen consorcios bacterianos en superficie (tapetes bacterianos) y fauna quimiosintética localizada, principalmente, en varias cumbres de volcanes de fango (ej.: Anastasya), disminuyendo su población a medida que se incrementa la distancia al foco de emisión. La comunidad asociada a estos fondos está constituida por especies con quimiosimbiontes, como son los poliquetos frenulados, bivalvos y decápodos talasínidos excavadores de galerías, pero también por otras especies no ligadas estrictamente a las emisiones y que son características de los fangos batiales, como son los moluscos, pennatuláceos, poliquetos o equinodermos. Las comunidades de pennatuláceos y megafauna excavadora están ampliamente distribuidas en diferentes áreas adyacentes a los volcanes de fango, presentando densidades elevadas (como es el caso de los volcanes de fango Tarsis y Pipoca) y bajas (como en Anastasya) de pennatuláceos (*Funiculina quadrangularis*, *Kophobelemnion stelliferum*, *Pennatula* cf. *aculeata*). Otras especies que forman parte de la comunidad son la esponja *Thenea muricata*, moluscos, decápodos, equinodermos o peces.

La facies de fangos compactos con coral bambú *Isidellae longata* está bien representada, así como de la gorgonia *Radicipes* cf. *fragilis* y la esponja hexactinélida *Pheronema carpenteri*. La comunidad asociada está conformada por moluscos, decápodos, equinodermos y algunas especies de peces. La facies de crinoideos del género *Leptometra* se encuentra en laderas de volcanes de fango, en fondos blandos (generalmente arenas y gravas) con carbonatos autigénicos (enlosados o chimeneas). Otras especies dominantes de esta comunidad son los poríferos *Phakellia* spp., *Pachastrella* sp. y *Haliclona mucosa*, los cnidarios *Flabellum chunii* y pequeñas gorgonias como *Acanthogorgia hirsuta* o *Bebrycemollis*, junto a braquiópodos, moluscos y decápodos.

Las agregaciones de gorgonias se distribuyen por diferentes volcanes, preferentemente sobre aquellos que presentan afloramientos de carbonatos autigénicos, estando representadas por especies de pequeño tamaño (*Acanthogorgia*, *Swiftia*, *Gymnosarca bathybius*, *Placogorgia* spp.) o de gran tamaño (*Callogorgia verticillata*, *Viminella flagellum*). En este tipo de formaciones es posible encontrar agregaciones de antipatarios (*Leiopathes*, *Stichopathes*, *Anthipathella*), con algunos ejemplares de gran porte. La comunidad está conformada por especies ligadas, principalmente, a sustratos duros, aunque también abundan las especies ligadas a los octocorales, como es el gasterópodo *Simnianaensis* o el solenogastro *Anamenia gorgonophila*.

Es importante señalar el hallazgo de una unidad morfosedimentaria intensamente ocupada por corales de aguas frías, de muy alto valor ecológico, en la que domina la especie *Madrepora oculata*, seguida de *Lophelia pertusa* y *Dendrophyllia cornigera*. Junto a ellas se ha observado la presencia de otros hexacorarios de menor tamaño, así como la de hidrozoos o gorgonias, poríferos, moluscos y, en menor proporción, algunos gasterópodos que se alimentan de cnidarios (*Epitonium* spp.) o esponjas (*Emarginula* spp.).

No son muy numerosas las actividades antropogénicas que se desarrollan en el área del golfo de Cádiz, sin embargo, alguna de ellas resulta de gran peligrosidad para los hábitats identificados en el estudio. Sin lugar a dudas, la actividad que ejerce un mayor impacto es la pesca de arrastre de fondo, si bien el principal efecto se concentra en los focos de emisión de metano, lugares en los que, a la propia destrucción de algunos ecosistemas, hay que añadir la propensión a la expulsión de metano por causa de la removilización de los sedimentos. Este tipo de pesquería no selectiva provoca cambios en la composición de los ecosistemas, afectando a la productividad pesquera a largo plazo. Las consecuencias físicas del arrastre de fondo son la alteración y/o destrucción directa del hábitat y la resuspensión del sedimento, aumentando la turbidez y produciéndose cambios en la composición geoquímica del depósito.

En la zona donde se concentra la mayor cantidad de focos de expulsión de fluidos, se han encontrado un total de 27 tipos de hábitats, todos ellos correspondientes al nivel batial, de los cuales 5 tipos están englobados en el hábitat 1180 “Estructuras submarinas producidas por el escape de gases” de la Directiva Hábitats 92/43/CEE, ocupando una superficie de 15.488 hectáreas.

Se han identificado, catalogado y descrito 3 tipos básicos de hábitats dentro del nivel genérico 1180: (1) el subtipo “Volcanes de fango”, que está muy extendido por la zona; (2) el subtipo “Depresiones de colapso”, localizado junto a los volcanes Anastasya, Pipoca, Hespérides, Almazán, Aveiro y San Petersburgo, y (3) el subtipo “Pockmarks”, que al ser un fenómeno muy difuso está extendido por toda la zona, sobre todo al sur, en las áreas más distales del talud (se han podido cartografiar 112 localizaciones). Otros hábitats de distinto nivel, dentro del genérico 1180, es el de las “Estructuras producidas por escapes de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético”, que reviste un carácter extensivo en toda la zona de emisión de gases, así como el referido a las “Estructuras producidas por escapes de gases con especies quimiosintéticas”, que se ha identificado en los volcanes Albolote, Gazul, Anastasya, Pipoca, Tarsis, Hespérides, Almazán, Aveiro y San Petersburgo.

Por otra parte, y no por ello de menor importancia, se han identificado 9 subtipos de hábitats vinculados al hábitat 1170 “Arrecifes”, como son: (1) Roca batial con *Acanthogorgia hirsuta*, en Pipoca; (2) Arrecife de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata*, en los fondos de rocas carbonatadas y acúmulos de coral muerto compactado del volcán de fango Gazul, el cual presenta un hidrodinamismo mucho mayor que en otras zonas del LIC, así como una baja actividad pesquera de arrastre; (3) Fondos rocosos profundos con antipatarios, de los géneros *Leiopathes*, *Antipathes* y *Stichopathes*, que se han encontrado en el entorno de los volcanes Gazul, Hespérides y Almazán; (4) Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema*), en el entorno de Chica y Enmedio; (5) Roca batial colmatada de sedimentos con *Bebrycemollis*, solamente encontrado en Gazul; (6) Roca batial con *Callogorgia verticillata* en zonas concretas del complejo Chica; (7) Roca batial con *Callogorgia* y desmoesponjas, presente en la zona de Enmedio; (8) Fondos rocosos profundos con agregaciones de desmoesponjas, identificado en Gazul, Magallanes, Enano, Enmedio y Chica, y (9) Depósitos de coral muerto con restos de escleractinias (ej.: *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*, *Dendrophyllia alternata*), colonizados por pequeños octocorales (ej.: *Swiftia*, *Bebryce*, *Placogorgia*) y diseminados por los volcanes de fango Albolote, Gazul, Hespérides, Almazán y Aveiro. Entre todos ellos ocupan una superficie aproximada de 2.063 hectáreas.

También se han encontrado 6 hábitats que están ligados a la propuesta de LIC sobre “Hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios” para que sea incluido en la Directiva Hábitats, y otros 7 hábitats no tienen vinculación con dicha directiva.

Por todo lo visto, parece incuestionable la singularidad natural y ambiental de la zona de expulsión de fluidos saturados en gas metano, que se caracteriza por la abundante presencia de volcanes de fango. Dicha singularidad reside en el hecho de acoger estructuras geomorfológicas que son poco usuales (los pockmarks y los volcanes de fango), y contar con la presencia de especies raras (como son los moluscos y poliquetos ligados a las emisiones de fluidos), así como el hecho muy destacable de disponer de hábitats constituidos por corales de aguas frías, de gran importancia ecológica. Para los ciclos de vida de diferentes especies, la relevancia de los hábitats identificados y catalogados es manifiesta, ya que un gran número de especies comerciales bentónico-demersales presentan poblaciones importantes con reclutamiento en diferentes zonas del campo de volcanes de fango, como son la cigala y la merluza.

La fauna vinculada a los volcanes de fango y a los fondos adyacentes incluye una veintena de especies que están incluidas en listados de conservación nacional e internacional, así como en el Catálogo Español de Especies Amenazadas o en el Convenio OSPAR. La presencia de especies de lento crecimiento y alta fragilidad, que además construyen hábitats, como son los corales de aguas frías, los corales negros o los corales bambú, justifican por sí mismas la importancia ecológica y natural de la zona.

Algunos de los focos de emisión, con hábitats y especies de interés para su conservación, están a merced del impacto de las actividades antropogénicas, por lo que la valoración de su fragilidad y de su importancia, en términos ambientales, posibilitaría la toma de medidas que ofrezcan garantías para su protección y conservación. La no alteración del equilibrio sedimentario, evitando remover los fondos en los lugares de emisión, salvaguardaría la persistencia del equilibrio del sustrato y de los hábitats. Los tapetes bacterianos actúan como último biofiltro natural del sustrato marino, impidiendo que el gas metano alcance la atmósfera, por lo que su salvaguarda favorecería la toma de medidas para paliar el cambio climático. La tutela de los nichos ecológicos de algunas especies favorecería, a medio y largo plazo, el mantenimiento del sector pesquero en el golfo de Cádiz.

## 1 Executive Summary

---

The Gulf of Cadiz is located in the eastern sector of the North Atlantic Ocean, to the southwest of the Iberian Peninsula. Its eastern boundary is the Strait of Gibraltar, separating the gulf from the Mediterranean Sea. The area known as "the Gulf of Cadiz mud volcanoes" is located in the bathymetric range between 300 and 1,200 metres, placing it on the upper middle part of the continental slope and the southern Iberian continental margin. Its physiography is characterised by its irregular reliefs, which are especially rugged in some sectors. The bathymetry of the gulf is dominated by convex water contours at its margins and reflected in a morphology imposed by the marine dynamics, with a combination of peaks and troughs (pertaining to diapiric ridges of structural origin), as well as submarine canyons and channels. The arrangement and nature of these reliefs reveals the existence of a close relationship between neotectonics, diapirism (linked to saline tectonics) and the movement mechanism of the water masses. Fine and very fine sediments predominate in the composition of deposits that build the continental margin.

The Gulf of Cadiz is strongly influenced by the exchange of bodies of water that occur through the Strait of Gibraltar: a surface flow of Atlantic origin enters the Mediterranean Sea, while another deep flow, of Mediterranean origin, circulates under the former towards the Atlantic Ocean. The current carrying Mediterranean water mass out into the Atlantic (Mediterranean Outflow Water, MOW) exerts a greater influence on the bottoms of the area referred to as a Site of Community Importance (SCI) as it circulates in contact with the friction surface of the seabed. This interaction with the seabed causes very particular small-scale hydrodynamics, producing subdivisions of the main flow as current energy is dissipated at greater depths.

The structures known as mud volcanoes, one of the most unique and significant in the context of ecosystems in the Gulf of Cadiz, are reliefs of a usually conical geometry, which are formed as a result of the process of expulsion of load carrying fluids in gas from the seabed. This process causes substantial changes to the surface of deposits, significantly changing the existing reliefs and generating new carbonated structures. In this way, these bottoms become consolidated surfaces or surfaces of a mixed nature, composed of fragments of new carbonate rock created by

the bacterial consumption of methane.

The most characteristic feature of the bottom surface is the diversity of erosive relief related to the action of the MOW, as well as the active process of the expulsion of fluid saturated gas. This condition cause high levels of biological diversity in the benthic ecosystems, which in turn determine the development of important deep-water habitats. From this perspective, biodiversity would be linked primarily to the bathymetric range in which the phenomenon of the expulsion of fluid mixed with methane (300-1200 metres of depth), sedimentological variability of the sedimentary deposits (mud, thick sand, gravel, hard bottoms, etc.), its geomorphological diversity (the peaks of volcanoes, depressions, channels, flat areas, etc.) and the complex hydrology which dominates the area that, in the final analysis, is one of the factors involved in the process of fluid expulsion.

The presence of methane-saturated sediments that host bacterial populations on the surface (bacterial mats) and chemosynthetic fauna located, mainly, in several mud volcano summits has been observed at the surface of several emission sources (e.g. Anastasya). These populations decrease as the distance to the source of emission becomes greater. The community associated with these bottoms is composed of symbiont species, such as polychaetes, bivalves and decapods that excavate galleries, but also of other species not strictly linked to the emissions, and which are characteristic of the bathyal sludge, such as molluscs, pennatulacea, polychaetes and echinoderms. The communities of pennatulacea and excavator mega fauna are widely distributed across different areas adjacent to the mud volcanoes, presenting high densities (as in the case of Tarshish and Pipoca volcanoes) and low densities (*Anastasya*) of pennatulacea (*Funiculina quadrangularis*, *Kophobelemnion stelliferum*, *Pennatula cf. aculeata*). Other species that are part of this community are the sponge *Thenea muricata*, molluscs, decapods, echinoderms and fish.

Facies of compact mud with bamboo coral *Isidella elongata* is also well represented, as well as the gorgonian *Radicipes cf. fragilis* and the hexactinellid sponge *Pheronema carpenteri*. The associated community is composed of molluscs, decapods, echinoderms and some species of fish. Facies of crinoids of the genus *Leptometra* are located on the slopes of the mud volcanoes and on soft bottoms (usually sand and gravel) with authigenic carbonates (pavements or vents). Other dominant species in this community are the porifera *Phakellia* spp., *Pachastrella* sp. and *Haliclona mucosa*, cnidarians *Flabellum chunii* and small gorgonians such as *Acanthogorgia hirsuta* or *Bebryce mollis*, along with brachiopods, molluscs and decapods.

The aggregations of gorgonians are distributed between different volcanoes, preferably on those that have outcrops of authigenic carbonate and are represented by small species (*Acanthogorgia*, *Swiftia*, *Gymnosarca bathybius*, *Placogorgia* spp.) or larger examples (*Callogorgia verticillata*, *Viminella flagellum*). In this type of formation, it is possible to find aggregations of antipatharia (*Leiopathes*, *Stichopathes*, *Anthipathella*), with some large specimens. The community is comprised of species linked, mainly, to hard substrates, although there are also many species linked to the octocorals, such as the gastropod *Simnia nicaensis* or solenogaster, *Anamenia gorgonophila*.

It is important to note the finding of a morphosedimentary formation occupied intensively by an ecologically important community of cold water corals, in which the species *Madrepora oculata* dominates, followed by *Lophelia pertusa* and *Dendrophyllia cornigera*. Next to these corals, the presence of other, smaller hexacorallia, as well as hydroids or gorgonians, porifera, molluscs and, to a lesser extent, some gastropods which feed on cnidarians (*Epitonium* spp.) or sponges (*Emarginula* spp.) have been found.

Anthropogenic activities carried out in the area of the Gulf of Cádiz are few; however, one of them clearly threatens the habitats identified in the study. Without a doubt, the activity that has the greatest impact is bottom trawling, while its main effect focuses on the sources of methane emissions, places in which as well as the destruction of some ecosystems, the propensity for the expulsion of methane is increased due to the disturbance of sediments. This type of non-selective fishing causes changes in the composition of ecosystems, affecting the long-term productivity of the fishery. The physical consequences of bottom trawling are the alteration and/or direct destruction of habitat and the re-suspension of sediment, increasing turbidity and changing the geochemical composition of the deposits.

In the area where the greatest number of fluid expulsions is concentrated, a total of 27 types of habitat were found, all of them corresponding to the bathyal level, of which 5 types are covered by the habitat designation 1180 "Submarine structures made by leaking gases" of the Habitats Directive 92/43/EEC, occupying an area of 15,488 hectares.

Three basic types of habitats have been identified, catalogued, and described within the generic level 1180: (1) the "Mud volcanoes" subtype, which is widespread in the area; (2) the subtype "Collapsed depressions", located next to the volcanoes Anastasya, Pipoca, Hesperides, Almazán, Aveiro and San Petersburg, and (3) the "Pockmarks" subtype, which is widespread throughout the area, especially in the south, being a very diffuse phenomenon in the more distal areas of the slope (112 locations have been mapped). Other habitats at different levels, within the generic 1180, include the "Structures produced by leaking gases with carbonate substrates of chemosynthetic origin", which is extensive in the area of gas emission, as well as designation "Structures produced by leaking gases with chemosynthetic species", which has been identified in the volcanoes Albolote, Gazul, Anastasya, Pipoca, Tarsis, Hespérides, Almazán, Aveiro and St. Petersburg.

In addition, and of equal importance, 9 subtypes of habitats linked to habitat 1170 "Reefs" have been identified. These are: (1) Bathyal rock with *Acanthogorgia hirsuta*, on Pipoca; (2) reef of deep coral *Lophelia pertusa* and/or *Madrepora oculata*, on bottoms of carbonate rocks and accumulations of compressed dead coral on the slopes of the Gazul mud volcano, which presents significantly more active hydrodynamics than in other areas of the SCI, as well as a low level of dragnet fishing activity; (3) deep rocky bottoms with antipatharia, of the genus *Leiopathes*, *Antipathes* and *Stichopathes*, have been found in the environment of the volcanoes Gazul, Hespérides and Almazán; (4) bathyal rock with large hexactinellid sponges (*Asconema*), in the surroundings of Chica and Enmedio; (5) bathyal sedimentary rock with *Bebryce mollis*, found only on Gazul; (6) bathyal rock with *Callogorgia verticillata* in specific areas of the Chica complex; (7) bathyal rock with *Callogorgia* and *Demospongiae*, in the area around Enmedio; (8) deep rocky bottoms with aggregations of *Demospongiae*, identified in Gazul, Magallanes, Enano, Enmedio and Chica, and (9) deposits of dead coral with remains of escleractinias (e.g.: *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*, *Dendrophyllia alternata*), colonized by small octocorals (e.g.: *Swiftia*, *Bebryce*, *Placogorgia*) scattered around the volcanoes Albolote, Gazul, Hespérides, Almazán and Aveiro. Between them, these reef habitats occupy a surface area of approximately 2,063 hectares.

6 habitats linked to the SCI proposal have also been found in the category "Biogenic habitats on sedimentary bottoms" included in the Habitats Directive, and another 7 habitats that have no connection with the directive.

It is apparent that the area that includes the vents of fluids saturated in methane gas, which is characterised by the abundant presence of mud volcanoes is of unquestionable natural and environmental uniqueness. This uniqueness lies in the existence of unusual geomorphological structures (the pockmarks and mud volcanoes), and the presence of rare species (such as molluscs and polychaetes associated with the fluid emissions), as well as the remarkable presence of ecologically important habitats constructed from cold-water coral. For the life cycles of the different species, the relevance of the identified and catalogued habitats is manifest. A large number of commercial benthic-demersal species, such as hake and Norway lobster, present important populations with a presence throughout the area in which the mud volcanoes are found.

The fauna associated with mud volcanoes and the adjacent seabed includes twenty species included in conservation listings nationally and internationally, as well as in the Spanish Catalogue of Endangered Species or the OSPAR Convention. In itself, the presence of slow growing and highly fragile species, which also build habitats, such as cold-water corals, black corals or bamboo coral, justify the natural and ecological importance of the area.

Some of the sources of emission, with habitats and species of interest for conservation, are at the mercy of the impact of anthropogenic activities, so that the assessment of their fragility and their importance, in environmental terms, would enable action to provide guarantees for their protection and conservation. The non-alteration of sedimentary balance, avoiding disturbance of the seabed at the site of vents, would safeguard the persistence of the balance of the substrate and its habitats. Bacterial mats act as last natural bio filter for the marine substrate, preventing methane reaching the atmosphere. Safeguarding these communities would help to mitigate climate change. The protection of the ecological niches of some species would encourage, in the medium and long term, the maintenance of the fishing industry in the Gulf of Cadiz.

---





## 2 INDEMARES, un hito en la conservación del medio marino

El 71% de la superficie de nuestro planeta está cubierta por agua, de la cual el 97% es mar y, a pesar de ello, sigue siendo un gran desconocido.

El mar es fuente de vida, pero el aumento de la presión de las actividades humanas en el medio marino está mermando la salud de los océanos y la disponibilidad de los recursos naturales que albergan. Por esta razón, la protección de nuestros mares y el desarrollo sostenible de las actividades económicas que en él se desarrollan es imprescindible.

España es uno de los países más ricos en términos de biodiversidad marina, de la que dependen importantes actividades económicas. Pero, mientras más de una cuarta parte del territorio terrestre está incluida en la Red Natura 2000, la red de espacios protegidos de referencia a nivel europeo, en el ámbito marino esta red estaba menos desarrollada. Los altos costes y la complejidad asociados a la realización de inventarios en zonas alejadas de la costa y a grandes profundidades dificultan la disponibilidad de la información científica sobre hábitats y especies que debe guiar la identificación de los espacios a incluir en esta Red.

En este contexto, en el año 2009 se inició el **proyecto LIFE+ INDEMARES**, una de las mayores iniciativas europeas para el conocimiento y la conservación del medio marino, que ha tenido como objetivo contribuir a la protección y uso sostenible de la biodiversidad en los mares españoles. El proyecto, cofinanciado por la Comisión Europea, ha tenido un enfoque participativo, integrando el trabajo de instituciones de referencia en el ámbito de la gestión, la investigación y la conservación del medio marino y a los usuarios del mar, especialmente al sector pesquero.

La Fundación Biodiversidad, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ha sido la coordinadora del proyecto, en el que han participado 9 socios: el propio Ministerio, el Instituto Español de Oceanografía, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ALNITAK, la Coordinadora para el Estudio de los

Mamíferos Marinos, OCEANA, la Sociedad para el Estudio de los Cetáceos en el Archipiélago Canario, SEO/BirdLife y WWF España.

El proyecto se ha desarrollado en **10 grandes áreas repartidas por las 3 regiones biogeográficas** marinas de España cuya selección se basó en su amplia representación natural, en la presencia de especies o hábitats amenazados y la existencia de áreas de alto valor ecológico, estudiando así una superficie de casi 5 millones de hectáreas:

- Región Atlántica: Banco de Galicia, Sistema de cañones submarinos de Avilés y Volcanes de fango del Golfo de Cádiz.
- Región Mediterránea: Sistema de cañones submarinos occidentales del Golfo de León, Canal de Menorca, Espacio marino de Illes Columbretes, Sur de Almería-Seco de los Olivos y Espacio marino de Alborán.
- Región Macaronésica: Espacio marino del oriente y sur de Lanzarote-Fuerteventura y Banco de la Concepción.

Además, se ha completado la información de otro proyecto LIFE “Áreas Importantes para las Aves (IBA) marinas en España” (LIFE04NAT/ES/000049), desarrollado por SEO/BirdLife con el apoyo del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, por el cual se seleccionaron las 42 IBA marinas. Durante INDEMARES se han corroborado otras 2 IBA marinas y se ha estudiado en detalle el uso que las aves hacen de estos espacios, su interacción con las actividades humanas y sus amenazas. Al final de INDEMARES, 39 de estas áreas importantes para las aves han sido designadas como Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).

Se han realizado **más de 40 actuaciones** dirigidas, en una primera fase, a obtener la información científica y socioeconómica en cada una de las áreas estudiadas y, en una segunda fase, analizar los resultados de forma coherente para permitir, a través de la participación pública, la designación de espacios de la Red

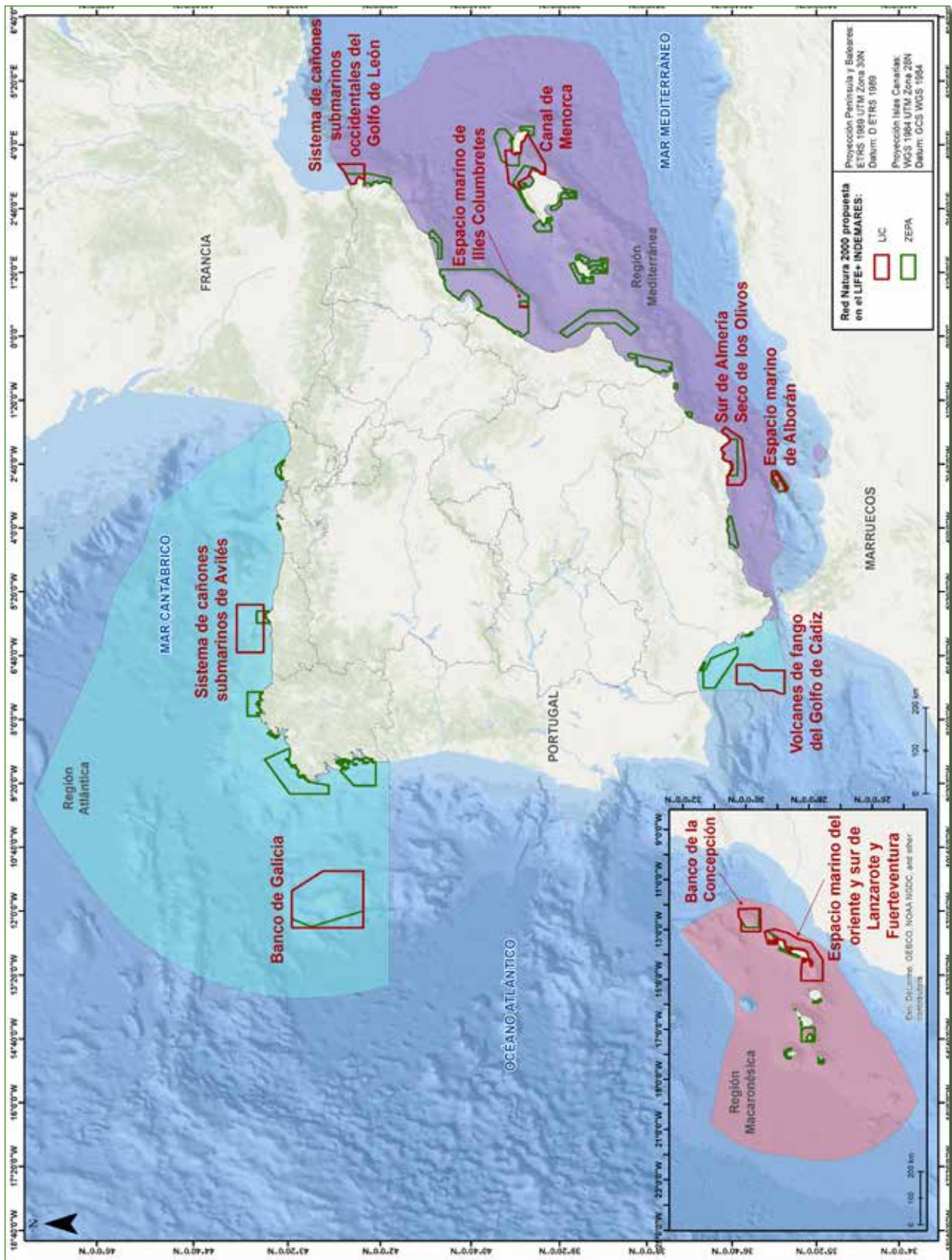


Figura 2.1. Mapa de los espacios protegidos de la Red Natura 2000 propuestos en el proyecto INDEMARES.  
Fuente: Fundación Biodiversidad/Mónica Campillos.

Natura 2000 y la elaboración de las directrices de gestión en esta red ecológica europea.

El enfoque multidisciplinar del proyecto ha permitido emplear diferentes herramientas y técnicas de muestreo con el fin de incrementar el conocimiento de las zonas hasta llegar a disponer de una información detallada de las especies presentes. Se han aplicado metodologías para el estudio de la hidrografía, caracterizando cada región, describiendo sus principales masas de agua y la hidrodinámica de las corrientes. También se ha abordado la geología de las mismas, incluyendo levantamientos batimétricos, perfiles sísmicos, muestreos de sedimento y petrológicos, obteniendo modelos digitales del terreno y mapas de tipos de fondo. Se han caracterizado las comunidades bentopelágicas, demersales, epibentónicas y endobentónicas, prestando especial atención a aquellas que conforman o estructuran los hábitats sensibles cuyo inventariado y cartografía era objeto principal del proyecto.

INDEMARES ha abierto un nuevo horizonte en el conocimiento de la biodiversidad que atesoran las profundidades y que tiene una relevancia vital en la estabilidad del clima, los océanos y en los bienes y servicios que producen para el bienestar humano. Trabajar en las zonas profundas de nuestros mares, caracterizando lugares de los que prácticamente no se tenía ningún dato científico, ha sido una tarea titánica, uno de los grandes retos del proyecto.

Se han identificado cerca de 144 hábitats presentes en el Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos, logrando la identificación de los hábitats bentónicos más precisa y amplia de Europa y permitiendo la localización de los hábitats presentes en el Anexo I de la Directiva Hábitats. Además, se ha obtenido información muy valiosa sobre la importancia de otros tipos de hábitats no incluidos en la Directiva y que, según los criterios científicos, se debe proponer su inclusión y, por lo tanto, contribuir a su mejora en cuanto a la representación de hábitats marinos se refiere. Éstos son: hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios, maërl y rodolitos y fondos de cascajo.

Se ha ampliado el conocimiento sobre los patrones de usos que las 16 especies de aves marinas presentes en el Anexo I de la Directiva Aves hacen de sus áreas de distribución, así como la influencia de las actividades humanas sobre todas ellas.

Los estudios sobre los cetáceos y tortugas han permitido conocer sus estimas de abundancia y presencia y la identificación de las áreas más importantes que merecen una atención especial. A través de un laboratorio de experimentación, se han desarrollado herramientas de mitigación de los impactos producidos por determinadas actividades humanas sobre este grupo de animales: turismo, defensa, transporte y pesca.

Gracias a INDEMARES, España se sitúa a la vanguardia de la conservación del medio marino en toda Europa, no solo por la superficie Red Natura 2000 propuesta para designación, sino porque ha sentado las bases para la futura gestión de estas áreas. Como principal resultado de INDEMARES se han declarado 39 ZEPA marinas (Zonas de Especial Protección para Aves) y 10 LIC (Lugares de Importancia Comunitaria), lo que supone 7,3 millones de hectáreas. Esta superficie, sumada a la declarada con anterioridad al proyecto, significará la protección del 8,4% de la superficie marina del Estado, contribuyendo, de esta forma, al objetivo del Convenio de Diversidad Biológica de proteger el 10% de las regiones marinas.

Como se comentó anteriormente, una de las áreas seleccionadas de la región atlántica para el proyecto LIFE+ INDEMARES fueron los Volcanes de fango del Golfo de Cádiz. Este LIC se encuentra ubicado entre los 300 metros y los 1.200 metros de profundidad, en el talud continental superior del golfo de Cádiz. El golfo está localizado en el suroeste de la península ibérica, formando parte del sector suroriental del océano Atlántico norte. Hacia el este, se comunica con el mar Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar, penetrando por el oeste hacia el océano Atlántico. El área se encuentra fuertemente influenciada por el intercambio de masas de agua que se produce en el estrecho de Gibraltar, siendo los flujos dominantes los entrantes de procedencia atlántica que se producen en superficie, mientras que los flujos salientes mediterráneos son profundos, surcando el Estrecho en su camino hacia el océano Atlántico. El núcleo superior de la masa de agua mediterránea de salida es el que baña de manera más extensiva el LIC. Geológicamente, el LIC se ve notablemente afectado por la tectónica salina relacionada con la convergencia de las placas litosféricas africana y europea.

La zona del golfo de Cádiz cubierta por el LIC es uno de los lugares más interesantes del

planeta donde el fenómeno de expulsión de sedimentos fluidificados cargados en gas ha traído como resultado la formación de una gran diversidad de relieves y hábitats de alto interés ecológico. Los fenómenos de expulsión de gas (principalmente metano) producen cambios sustanciales en la superficie de los depósitos sedimentarios y en el interior de las secuencias sedimentarias superiores, modificando notablemente los relieves preexistentes y generando nuevas geoformas (de naturaleza carbonatada) que evolucionan condicionadas por la intensidad y frecuencia de la expulsión. El rasgo más característico de la superficie del fondo marino del LIC es su continua alteración natural de los fondos, asociada al proceso erosivo de la corriente profunda de origen mediterráneo, y también al proceso activo de expulsión de fluidos cargados en gas.

Los fondos blandos, compuestos por sedimentos no consolidados de diferente textura, se transforman en fondos consolidados o rocosos, compuestos por fragmentos de roca procedentes tanto de los niveles sedimentarios inferiores como de la precipitación de carbonatos (facilitada por la actividad bacteriana al oxidar anaeróbicamente el metano). Esta última reacción se debe a la alta concentración de metano y sulfhídrico que se produce en el sedimento, y que es aprovechada por ciertas comunidades microbianas (consorcios de arqueas y bacterias). Estas comunidades desempeñan un papel importante a nivel trófico en la heterogeneidad bentónica: propician el establecimiento de comunidades de organismos quimiosimbiontes (ej.: poliquetos frenulados, bivalvos o decápodos).

La existencia de los nuevos sustratos carbonatados determina la formación de hábitats de interés comunitario (1180 “Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases” y 1170 “Arrecifes”). En concreto, la presencia de arrecifes en la zona, con especies tan singulares como los corales de aguas frías (ej.: *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*, *Dendrophyllia cornigera*), las comunidades de antipatarios (*Leiopathes*) o esponjas hexactinélidas (*Asconema*) sólo es posible debido a la presencia de estos sustratos duros de neoformación, dado que en la zona los fondos son eminentemente sedimentarios y, en determinados lugares, presentan una alta movilidad por su naturaleza disgregada. Es destacable, además, la importancia ambiental

de este fenómeno desde el punto de vista de su contribución a la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que puede suponer un factor multiplicador, no suficientemente evaluado, del cambio climático. Por otro lado, este espacio marino constituye una zona de puesta y reclutamiento de especies de interés comercial, lo que se traduce en una elevada diversidad biológica.

Se han encontrado 5 tipos de hábitats ligados al hábitat 1180 “Estructuras submarinas producidas por el escape de gases” de la Directiva Hábitats. También en el LIC se han identificado hasta 9 tipos de hábitats ligados al Hábitat 1170 denominado “Arrecifes”. Se han censado y catalogado más de 850 especies pertenecientes a diversos filos (Chordata, Arthropoda, Mollusca, Annelida, Cnidaria, Porifera, Echinodermata, Bryozoa, Brachiopoda, etc.). Algunas de estas especies se encuentran amenazadas y/o en declive según el Convenio OSPAR. También se ha identificado un elevado número de especies que están recogidas en listados de especies protegidas/vulnerables en distintos tratados, convenciones y normativas. Por encontrarse en un corredor migratorio entre el Atlántico y el Mediterráneo, el golfo de Cádiz es un área relevante para los cetáceos y las aves marinas.

Gracias a este proyecto, se ha constatado una amplia gama de tipos de hábitats y de comunidades biológicas, incluyendo comunidades frágiles de alto valor ecológico (corales de aguas frías), y otras que son únicas en el contexto europeo (comunidades quimiosintéticas). Algunos factores que influyen en el desarrollo de las comunidades biológicas pueden ser, entre otros: el amplio rango de profundidades; la especial hidrodinámica que le confiere el estrecho de Gibraltar; la complejidad de fondos marinos (fangos, arenas, gravas y sustratos rocosos); la variabilidad geomorfológica (volcanes, depresiones, canales, fondos aplacerados); la tectónica salina (diapirismo, emisiones de gases).

En conclusión, el LIC Volcanes de fango del Golfo de Cádiz posee unos valores ecológicos muy diversos y de gran importancia, destacando: (a) el elevado e interactivo hidrodinamismo, que es el producto de la convergencia de las masas de agua, vinculadas al intercambio que se realiza a través del estrecho de Gibraltar; (b) la singular diversidad y productividad biológica,

fruto de la existencia de un ambiente propicio y heterogéneo, facilitado por la convergencia de aguas atlánticas y mediterráneas; (c) la formación de importantes focos de escape de fluidos en el fondo marino, producto de la

tectónica salina relacionada con la convergencia de las placas litosféricas, africana y europea, y (d) la presencia de complejos procesos microbianos que aprovechan energéticamente los gases hidrocarburos.

---



# 3 Metodología y Equipamientos: ¿Cómo se estudian los fondos marinos?

El estudio de las características del fondo marino profundo requiere el uso de variadas técnicas y equipamientos específicos que permitan tomar datos de estas zonas, que suelen ser inaccesibles con los métodos comunes empleados en las zonas someras. Las campañas científicas dedicadas a la exploración de zonas profundas requieren una exhaustiva planificación y una considerable financiación. Además del empleo de sofisticadas tecnologías y buques oceanográficos especializados, es necesario contar con un equipo científico capaz de afrontar el reto que supone estudiar en detalle un espacio que se extiende a una profundidad de más de un kilómetro por debajo de la superficie del mar. El reto es inmenso, pero, gracias a iniciativas como el proyecto LIFE+ INDEMARES, hoy podemos comprender un poco mejor cómo son y cómo funcionan esas enigmáticas áreas profundas dominadas por las expulsiones de metano y los volcanes de fango.

## Campañas y buques oceanográficos

En el LIC Volcanes de fango del Golfo de Cádiz se realizaron 4 campañas oceanográficas, entre los años 2010 y 2012, en las que se utilizó un variado conjunto de técnicas de muestro y toma de datos digitales, llevándose a cabo trabajos de geología y de oceanografía física, además de numerosos muestreos biológicos. El objetivo

fue obtener suficiente volumen de datos científicos como para poder ir avanzando en el mejor conocimiento de los hábitats existentes en los volcanes de fango, en particular, y del fenómeno de emisión de gases, en general.

Para realizar estas campañas han servido de soporte diferentes buques oceanográficos. Las tripulaciones y los científicos conviven durante largos periodos de tiempo –una campaña puede durar hasta 30 días consecutivos–, efectuando un intenso trabajo diario que se extiende a lo largo de las 24 horas del día, por lo que hay que organizar el trabajo a bordo en turnos que se sustituyen unos a otros, de manera que haya personal disponible durante toda la jornada. Para que esta tarea sea eficiente, debe existir una estrecha colaboración entre científicos y tripulación, y de esa tarea se encarga el Jefe de Campaña y el Capitán del buque oceanográfico. Los buques oceanográficos (B/O) utilizados fueron el “Emma Bardán” y el “Vizconde de Eza”, ambos pertenecientes a la Secretaría General de Pesca (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), y el “Cornide de Saavedra” y el “Ramón Margalef”, cuyo armador es el Instituto Español de Oceanografía (Ministerio de Economía y Competitividad). Tanto la planificación de las campañas oceanográficas como la labor de análisis en laboratorio y gabinete se han desarrollado en el Centro Oceanográfico de Málaga, perteneciente al Instituto Español de Oceanografía (IEO).

### DEFINICIONES

- **Infauna:** es el conjunto de organismos que viven entre las partículas del sedimento en el medio acuático. Excavan construyendo túneles, nichos o madrigueras en el interior del sustrato (lodo, arena). Son parte de la comunidad bentónica, junto con la epifauna.
- **Batisonda:** aparato que mide las características físico-químicas del agua en función de la profundidad.
- **Derrota:** rumbo o dirección que llevan en su navegación las embarcaciones.
- **Draga:** máquina o aparato que se emplea para recoger del fondo marino fango, fragmentos de roca, arena, fauna, etc.
- **Paramétrico:** perteneciente o relativo a la variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico.



Figura 3.1. B/O “Emma Bardán”. Foto: IEO.



Figura 3.2. B/O “Vizconde de Eza”. Foto: IEO.



Figura 3.3. B/O “Cornide de Saavedra”. Foto: IEO



Figura 3.4. B/O “Ramón Margalef”. Foto: IEO.

Para asegurar la correcta navegación científica del buque oceanográfico (itinerarios y estaciones de muestreo) se emplea el sistema GPS, a través del cual es posible visualizar los eventos de navegación proyectados sobre la carta náutica electrónica, en la que se localizan los eventos de navegación (rutas planificadas, objetos en tierra, faros, líneas batimétricas, límites de seguridad, etc.).

### Estudios geomorfológicos

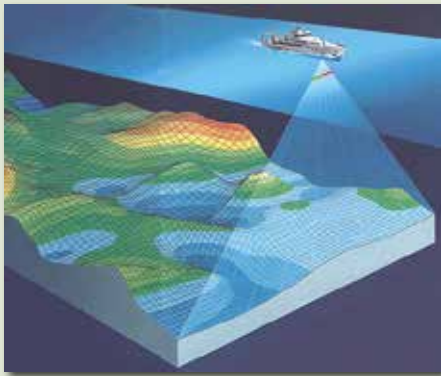
El estudio geomorfológico de las unidades superficiales se ha basado en la interpretación de los datos obtenidos con las sondas batimétricas

y paramétricas<sup>def</sup> con las que cuentan los buques oceanográficos (ver Cuadro). A partir de estos datos acústicos registrados, se ha realizado un análisis pormenorizado de la geomorfología y del tipo de fondo. Los datos de batimetría y reflectividad del fondo marino se obtienen de manera simultánea con la ecosonda multihaz. Tras el procesado de datos, elaboran los modelos digitales de elevación (conocido por sus siglas en inglés, DEM), que facilitan la visualización del relieve. También se elaboran los mosaicos de reflectividad, que nos aproximan a la consistencia (consolidación o disgregación) del fondo marino.

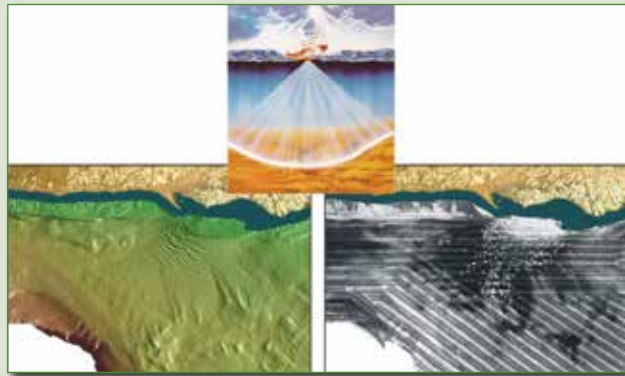
### Métodos acústicos para el estudio del fondo marino

La determinación de la profundidad del agua es uno de los principales objetivos en las observaciones marinas. Una batimetría de detalle permite trazar elementos batimétricos estrechamente ligados a evoluciones temporales de rasgos submarinos, rasgos tectónicos, estructurales, etc. Los métodos acústicos son las herramientas usadas para el estudio de la morfología del fondo oceánico.





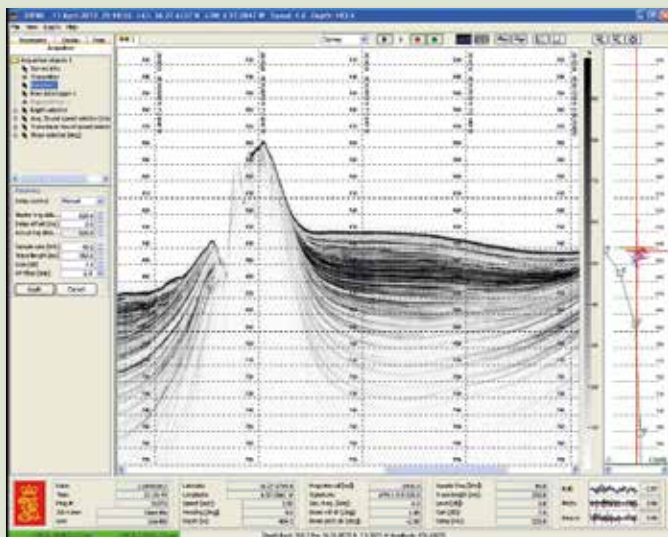
**Figura 3.5.** Ecosonda multihaz. Fuente: Proyecto EUROMARGINS-MOUNDFORCE.



**Figura 3.6.** Funcionamiento de la ecosonda multihaz: Batimetría (izquierda) y Reflectividad (Derecha). Fuente: Proyecto MOSAICO.

### Ecosonda Multihaz

La ecosonda multihaz es uno de los métodos acústicos más destacados y, con cada línea, suministra una información tridimensional de la superficie del fondo. Se trata de un sistema compuesto por varios transductores, que funcionan simultáneamente como transmisores y receptores acústicos, ordenados como un abanico de ecosondas monohaz que barren el fondo marino. Se basa en la emisión de un número variable de haces acústicos que, al alcanzar el fondo marino, se reflejan y regresan a la superficie marina, desde donde los transductores instalados en el barco recogen la señal acústica. En función de la velocidad de propagación del sonido en la columna de agua y, a partir del tiempo que tardan los pulsos acústicos (haces) en hacer el recorrido de ida y vuelta, se modeliza la profundidad a la que se encuentra el fondo en el área que se va cubriendo en cada derrota<sup>def</sup> del barco, obteniendo así una imagen digital del relieve submarino.

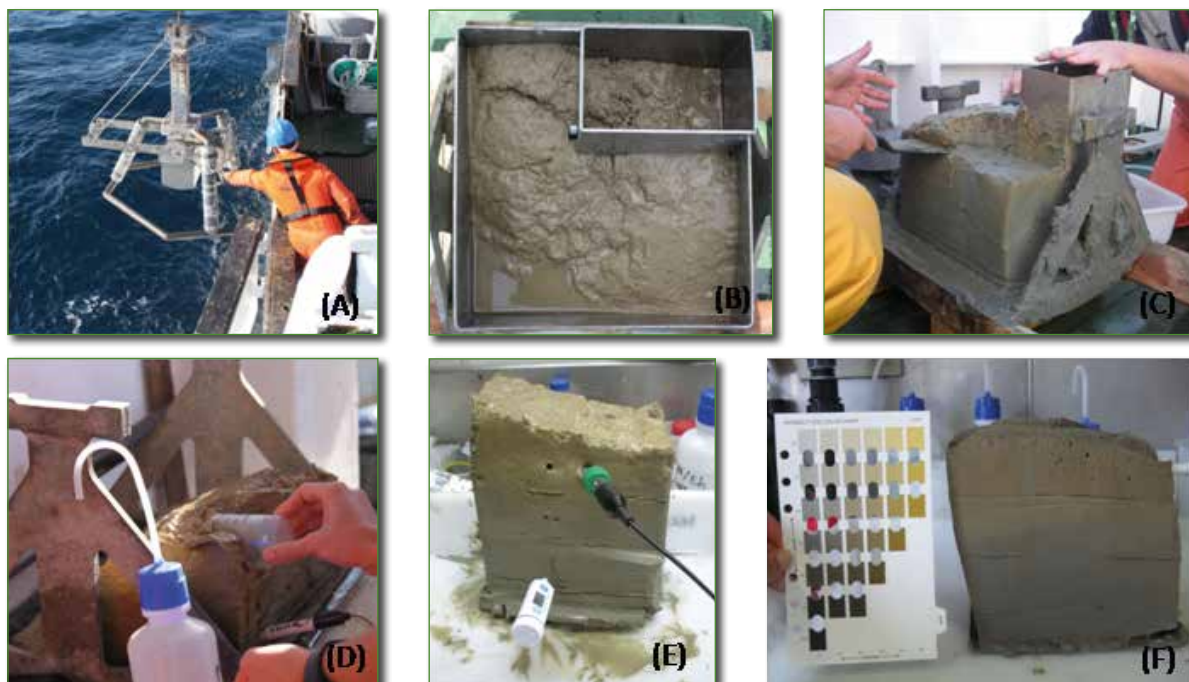


**Figura 3.7.** Sonda Paramétrica: imagen de la pantalla de control durante el levantamiento de un perfil sísmico de muy alta resolución. Fuente: IEO/GEMAR.

su utilización, junto con la ecosonda multihaz, es indispensable para realizar, de manera no intrusiva, la exploración submarina y la correcta interpretación de la naturaleza del fondo marino.

### Sonda Paramétrica

Es un sistema sísmico de reflexión, de muy alta resolución, que se integra en el grupo de sistemas que utilizan transductores como fuentes sísmicas, cuya versatilidad les permite realizar tanto la emisión como la recepción del pulso sísmico. Las características de este sistema radican en la generación de un pulso acústico estrecho, dando información de las características acústicas de los sedimentos no consolidados. De su interpretación se puede deducir la naturaleza de las unidades sísmicas más recientes, las estructuras tectónicas que les afectan, así como la textura de los



1) **Draga Box Corer:** esta draga lleva un cajetín que se clava en el fondo y permite obtener una columna de sedimentos superficiales, con muy poco grado de perturbación, de forma que se preserva la estratificación de la muestra. De esta manera, se pueden estudiar los organismos que habitan dentro de las capas superiores del fondo marino. **Fotos:** IEO/GEMAR.



2) **Draga Shipek:** consiste en un cuerpo rígido y pesado que se acciona por colisión contra el fondo cuando se deja en caída libre. En ese momento, una cazoleta gira súbitamente y recoge el sedimento que se encuentra bajo la draga. **Fotos:** IEO/GEMAR.



3) **Sacatestigos de gravedad:** consiste en un cuerpo muy pesado al que se le une una lanza cilíndrica cerrada con una pieza metálica de mayor dureza. El sistema se lanza sobre el fondo en caída libre. Una vez a bordo, se extrae el material y se corta en secciones.

**Figura 3.8.** Diferentes tipos de muestreos sedimentológicos y/o bentónicos. **Fotos:** IEO/GEMAR.

Para completar un estudio geológico es indispensable realizar una toma de muestras selectiva adquiridas con dragas<sup>def</sup>, de manera que se pueda efectuar una interpretación del ambiente sedimentario que gobierna la superficie del fondo marino (Figura 3.8). Para seleccionar las estaciones de muestreo es muy conveniente conocer con detalle la geomorfología y la naturaleza del fondo, de manera que se pueda adecuar la metodología del muestreo a la naturaleza y relieve del sustrato.

## Estudios oceanográficos

Los estudios oceanográficos se concentraron en la plataforma y talud continental del golfo de Cádiz, lugares en los que existe la mayor concentración de volcanes de fango y estructuras vinculadas a la expulsión de fluidos sedimentarios cargados en gas. La tecnología de prospección utilizada ha sido muy variada, toda ella de última generación, consistente en: ADCP, batisonda<sup>def</sup> CTD y roseta oceanográfica. Estos sistemas suministran datos ambientales de la columna de agua (temperatura, salinidad, fluorescencia, oxígeno y densidad) y de intensidad de corriente, que son esenciales para comprender mejor el proceso de expulsión y sus consecuencias biogeológicas.

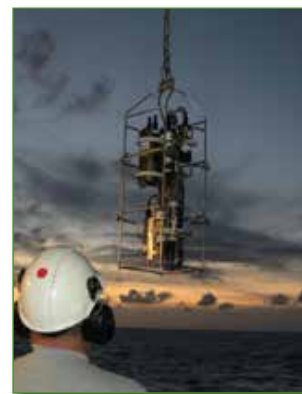
El ADCP (siglas correspondientes a *Acoustic Doppler Current Profiler*, en español trazador Doppler acústico de perfiles de corrientes) determina los vectores que caracterizan las corrientes marinas (módulo y dirección) en la columna de agua debajo del buque, mediante métodos acústicos. Proporciona detalles de la distribución de las corrientes de agua. También permite tomar decisiones en tiempo

real para adaptar las operaciones de campo y poder entender los regímenes de corrientes característicos de la zona de estudio. Este instrumento es fundamental para entender la forma en la que circulan las corrientes marinas, utilizándose en un gran número de proyectos oceanográficos (estudios climáticos, investigaciones de pesquerías, trabajos de fondeo de equipamiento científico, etc.).

Los CTD son equipos que registran la conductividad y la temperatura del agua en los rangos de profundidad a la que se encuentra sumergido el equipo. Consta de un cilindro metálico estanco, capaz de soportar altas presiones, donde se alojan la electrónica y los sensores de medición. El uso de botellas con cierre hermético (Niskin) permite obtener muestras de agua a diversas profundidades, sin que se produzca mezcla alguna a lo largo del muestreo. Para la obtención de muestras en un mismo punto o estación a diferentes niveles, se colocan las botellas en una roseta oceanográfica conectada con un ordenador que transmite la señal de cierre (boca superior e inferior) a las profundidades deseadas. A la roseta se le acopla también un CTD.

## Estudios biológicos

Para completar los estudios biológicos se han utilizado diversos equipos que tienen como finalidad la obtención de imágenes submarinas y muestras del bentos. El posterior estudio en laboratorio y gabinete permite identificar los tipos de comunidades y el registro de presencia/ausencia de especies en cada lugar muestreado.



**Figura 3.9.** Equipos de muestreo de oceanografía física: (izquierda) ADCP instalado en roseta oceanográfica; (derecha) CTD.  
**Fotos:** IEO/GEMAR.

### Métodos Indirectos o no intrusivos:



**Figura 3.10.** VOR (Vehículo de Observación Remolcado): es un sistema de observación submarina no tripulado y sin posibilidad de interactuar con el fondo marino. Consiste en una estructura de acero en la que se acoplan varios focos de iluminación, una cámara fotográfica HD y otra de video Full-HD, con el fin de obtener imágenes digitales de muy alta resolución de la superficie del fondo marino. **Fotos:** IEO/GEMAR.



**Figura 3.11.** ROV: vehículo operado a distancia (*Remote Operated Vehicle*, ROV): es un sistema de observación submarina no tripulado y operado desde superficie. Puede interactuar con el fondo marino al disponer de brazos articulados. Está equipado con varias cámaras de video digital de muy alta resolución. No está equipado con cámaras fotográficas. **Fotos:** IEO/GEMAR.



### Métodos Directos:

Para la recogida de muestras de la infauna<sup>def</sup> se usan las dragas ya mencionadas anteriormente (Box Corer y Shipek). Para la epifauna se utilizan

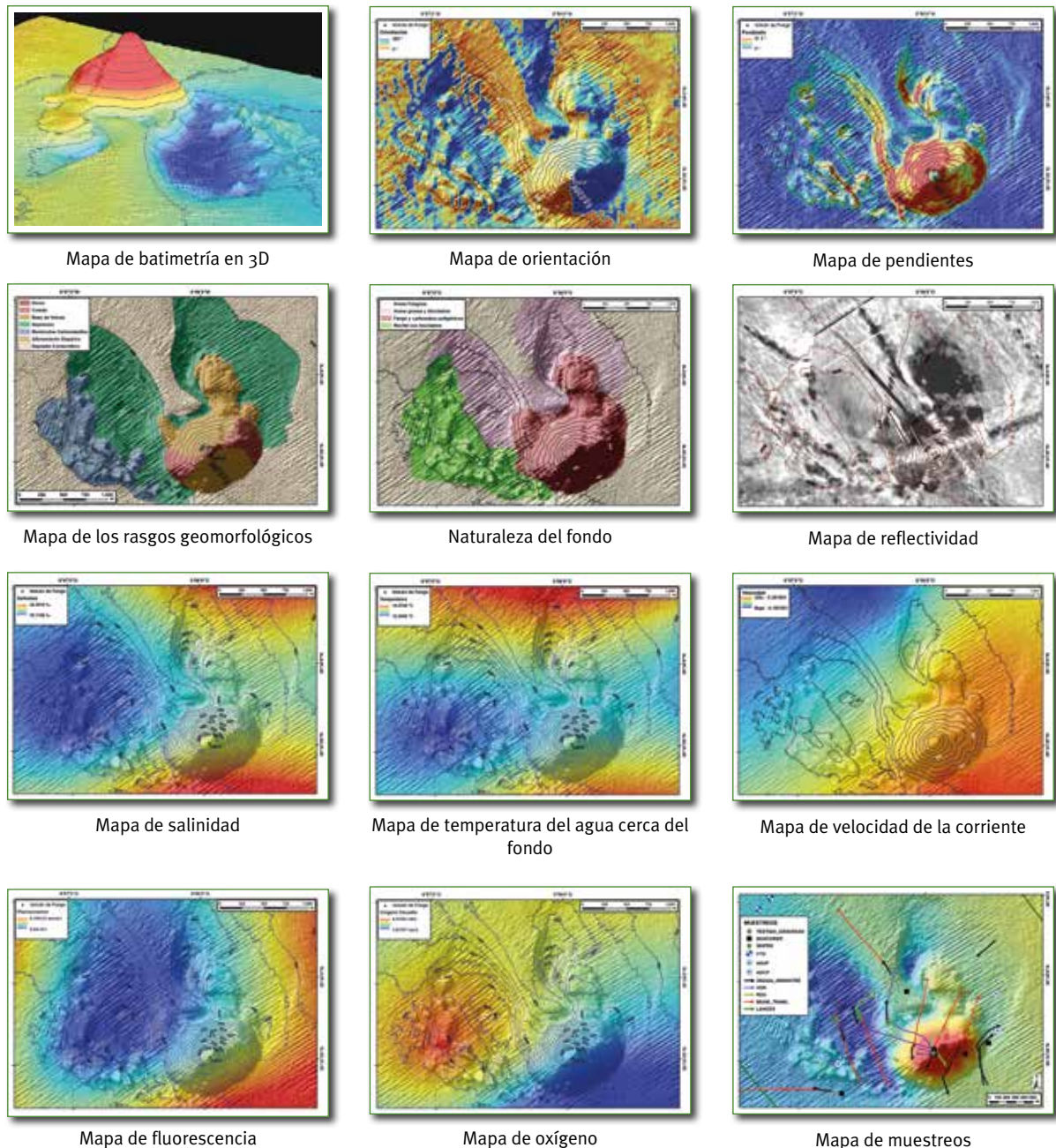
artes de muestreo lineal, como la draga de arrastre bentónico, para fondos duros, y el arrastre de vara (beam-trawl), para fondos blandos.



**Figura 3.12.** Draga de arrastre bentónico: funciona como un “patín” deslizándose sobre el fondo, recolectando flora y fauna que queda retenida en la malla, la cual está protegida con gruesos cueros. Las imágenes muestran diferentes momentos de la maniobra de arriado y virada. **Fotos:** IEO/GEMAR.



**Figura 3.13.** Beam-trawl (o bou de vara): se trata de un arte de arrastre usado para fondos blandos. Funciona como un “patín” deslizándose sobre el fondo, recolectando flora y fauna que queda retenida en la malla y el copo. Es muy eficaz en el muestreo de los organismos que viven sobre el sustrato (epibentos). Las imágenes muestran diferentes momentos de la maniobra de arriado y virada. **Fotos:** IEO/GEMAR.



**Figura 3.14.** Ejemplo, para el volcán de fango Gazul, de secuencia de cartografía temática dirigida a la catalogación de hábitats.  
**Fuente:** IEO/GEMAR.

Además de la obtención de imágenes y recogida de muestras biológicas y de sedimento, a bordo se realiza el preprocesado de toda esta información: recolección, identificación previa, fotografiado, etiquetado y conservación de cada una de las especies. La misión es dejar todo el material perfectamente etiquetado y ordenado para que la tarea en los laboratorios en tierra se realice sin complicaciones y de forma organizada.

Por otra parte, hay que hacer mención a la forma en la que se han estudiado las poblaciones de mamíferos marinos, que reviste una

particularidad por la especificidad del método. Para su estudio se han realizado diversos tipos de censos: visuales, acústicos y fotoidentificación de individuos. Estas metodologías engloban, en realidad, numerosas técnicas específicas para cada caso. De igual forma, para realizar el estudio de las aves marinas se ha empleado la técnica del censo desde embarcaciones, que es la principal técnica de muestreo empleada. Además, para conocer el comportamiento y distribución de las aves marinas se ha utilizado el marcaje de aves con dispositivos de seguimiento remoto.

## Estudios cartográficos

Una vez que los datos han sido procesados, analizados e interpretados, se integran en una base de datos que se gestiona mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). De esta manera, los investigadores disponen de

toda la información de una forma ágil y, a su vez, les facilita la comprensión de la interrelación existente entre las diferentes variables. La cartografía de hábitats se realiza mediante la interpretación, integración e interpolación de la información acústica, la información recogida de los muestreos y la información obtenida gracias a las fotografías y vídeos submarinos.

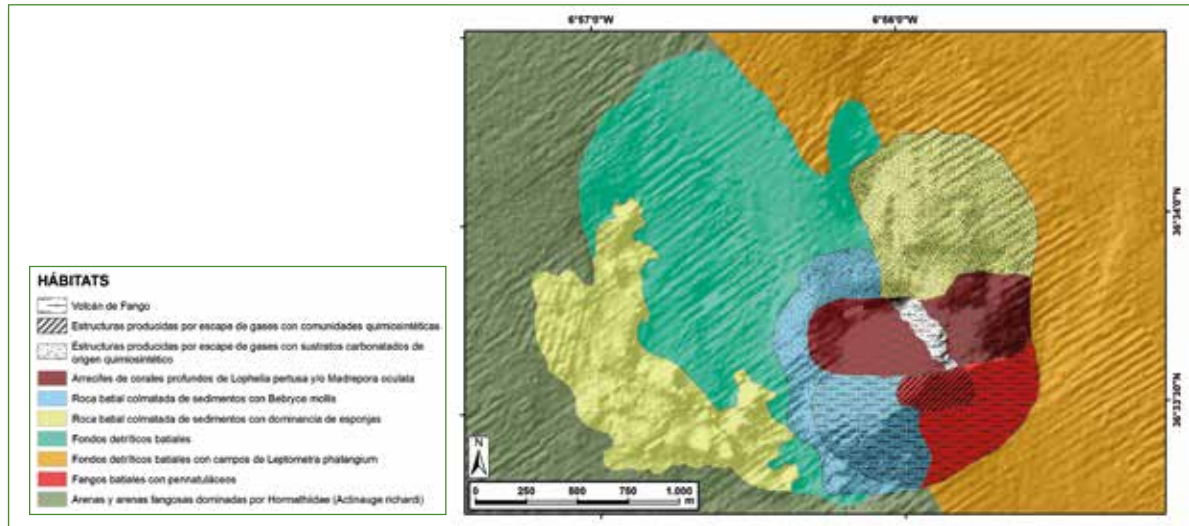


Figura 3.15. Mapa de hábitats para el volcán Gazul. Fuente: IEO/GEMAR.

## Metodología para el estudio de las aves marinas

El estudio de aves en el contexto de INDEMARES se ha dirigido a ratificar y, si procedía, completar el inventario de las Áreas Importantes para la Conservación de las aves marinas (en inglés *Important Bird Area*, IBA) identificadas previamente, así como a realizar estudios de detalle a pequeña y mediana escala para conocer mejor los patrones de distribución de las aves marinas, sus ritmos de actividad, los usos que hacen del medio y las interacciones con actividades humanas. Esto último se centró en algunas de las IBA más representativas, para poder desarrollar las medidas de gestión adecuadas para mantener (o mejorar) el buen estado de conservación de las aves marinas en las futuras ZEPA.

La metodología seguida para llevar a cabo los objetivos marcados ha consistido fundamentalmente en la realización de censos desde embarcación, aprovechando diversas campañas oceanográficas u organizando campañas específicas, y en el marcaje de aves con dispositivos de seguimiento remoto. Ambas aproximaciones han permitido conocer en detalle los patrones de distribución espaciotemporales de las especies más relevantes así como poder inferir su comportamiento e interacción con actividades humanas. Por último, también se han desarrollado acciones específicas para poder evaluar interacciones con actividades humanas y cuantificar amenazas.

## Campañas oceanográficas

Las campañas oceanográficas se han realizado principalmente mediante transectos (o área de muestreo) estandarizados, siguiendo la metodología más extendida en aguas europeas. Ésta consiste en censar las aves observadas en una franja imaginaria (generalmente 300 metros)

a uno o dos lados del barco (en función de las condiciones de observación), a medida que éste avanza con rumbo y velocidad constantes (preferiblemente 5-15 nudos). Los datos se agrupan por unidades de censo, de 10 minutos, de forma que para cada unidad existe un valor de abundancia por especie, que queda vinculado a una posición georreferenciada. Durante la realización de los censos por transectos se recoge información sobre las variables ambientales que puedan influir en la distribución de las aves, principalmente variables meteorológicas, así como información relacionada con actividades humanas e impactos (presencia de embarcaciones, basuras, etc.). De forma complementaria también se han realizado censos en estación fija, durante maniobras de pesca, dragados de fondo, etc.



**Figura 3.16.** Marcaje de una pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*). Foto: SEO/BirdLife - J. M. Arcos.

### Seguimiento remoto

El trabajo de marcajes y seguimiento remoto de aves marinas ha aportado resultados de gran interés durante el proyecto INDEMARES. En función de las especies y de los objetivos específicos de cada campaña, se han usado distintos dispositivos de seguimiento remoto y distintas metodologías para la sujeción de éstos a las aves. Cabe mencionar el espectacular avance en el marcaje con aparatos de GPS, gracias a la miniaturización y especialmente al

abaratamiento de los costes, que ha permitido llevar a cabo más marcajes de los inicialmente previstos. Las especies y las colonias objetivo se han seleccionado atendiendo a las prioridades del proyecto y la viabilidad de las acciones. Se han priorizado aquellas especies del Anexo I de la Directiva Aves más sensibles y con poca información disponible, y/o aquellas de fácil manejo y tamaño mediano-grande que puedan aportar información de calidad.

### Evaluación de interacciones humanas

Las principales acciones dirigidas a evaluar interacciones con actividades humanas han sido: la realización de encuestas a pescadores (principalmente dirigidas a evaluar grosso modo la ocurrencia de capturas accidentales de aves, según el tipo de arte y la zona), el embarque de observadores en barcas de pesca (para poder estudiar con más detalle dichas capturas accidentales) y la elaboración de un mapa de riesgo ante la explotación de energía eólica marina. Asimismo, la información obtenida a partir de censos y marcajes también ha contribuido a este particular.

## Metodología para el estudio de los mamíferos marinos

### Transectos lineales

Los grupos de investigación que han participado en el estudio de cetáceos en las distintas áreas del proyecto INDEMARES acordaron una metodología de estudio de estas especies basada en transectos (o áreas de muestreo) lineales diseñados para proporcionar una cobertura representativa, perpendiculares a la costa y en zig-zag. De esta forma se registró la información sobre esfuerzo recorrido y avistamientos realizados bajo los mismos criterios metodológicos.

Un avistamiento se define como un grupo de animales de la misma especie, vistos al mismo tiempo y mostrando un comportamiento similar a menos de 1.500 metros unos de otros. De cada avistamiento se han registrado, en formularios específicamente diseñados, la hora inicial del primer contacto, la posición, la dirección del movimiento, la especie, el número de animales y la profundidad.



**Figura 3.17.** Avistamiento de cetáceos desde el barco Toftevaag. **Foto:** Alnitak.

Al menos cada 15 minutos se tomaron datos genéricos referidos al esfuerzo de búsqueda realizado en el área y durante determinados sucesos tales como avistamientos o cambios de turno. Los datos de recorrido (hora local, posición, rumbo y velocidad de la embarcación) se obtuvieron automáticamente mediante el uso de un GPS. Los datos de búsqueda hacían referencia a si se estaba en esfuerzo/fuera de esfuerzo.

En cuanto a la multitud de datos ambientales posibles, se tomaron como prioritarios el estado del viento y de la mar (siguiendo las escalas de Beaufort y de Douglas respectivamente), la nubosidad y la visibilidad (en términos náuticos, la visibilidad se define como la máxima distancia horizontal a la que un observador puede distinguir claramente un objeto en el horizonte).

### Métodos acústicos

Los cetáceos son capaces de comunicarse entre sí (conversar) y algunos de ellos pueden conocer su medio ambiente (detectar su alimento y navegar) usando un sistema de sonar biológico. Aunque no todas las especies de cetáceos realizan este proceso de ecolocalización, el sonido es fundamental para la vida de todas estas especies. Esta característica de algunos cetáceos es aprovechada para la investigación mediante el uso de hidrófonos (aparato que permite escuchar los sonidos transmitidos en el agua) u otras técnicas acústicas. El hidrófono de arrastre es una herramienta fundamental para llevar a cabo censos acústicos: permite la detección de la presencia de los animales a través del sonido, aunque no sean avistados, así como la grabación, creación de archivos y bancos de estos sonidos para caracterizar de forma más clara las especies de cetáceos que sean objeto del estudio.

### Foto ID

Muchas especies de cetáceos tienen unas marcas distintivas (pigmentación o muescas en las aletas dorsales) que varían de un animal a otro de tal forma que los individuos pueden ser reconocidos en el mar. Las fotografías de esas marcas distintivas forman la base de un método llamado foto-identificación que provee información sobre el tamaño de la población, supervivencia, movimientos y reproducción. Durante las campañas oceanográficas se tomaron fotografías de los animales, fundamentalmente del lomo y la aleta dorsal (aunque según la especie la técnica puede variar), y se anotaron otros detalles de la morfología y de la coloración para garantizar la correcta identificación de la especie. Además, a cada animal fotografiado se le asignó el sexo y la condición sexual así como otros detalles tales como la extensión y la densidad de cicatrices en el cuerpo. Todos estos datos se vuelcan en una base de datos que permite hacer un seguimiento en el tiempo y en el espacio de cada individuo.



## 4 Tectónica salina y acción microbiana: el origen de los singulares relieves submarinos

Lo primero que sorprende al observar los fondos marinos del golfo de Cádiz es su diversidad de relieves. Destacan, de manera particular, aquellos de carácter irregular que se distribuyen formando dorsales diapíricas (montículos agrestes alineados), y que son el fruto de las fuerzas estructurales que ejercen las placas litosféricas europea y africana en su zona de convergencia. La influencia de la activa hidrodinámica producida por la cercanía del estrecho de Gibraltar y el intercambio de aguas que allí se produce, también deja su impronta: canales, surcos y una variada gama de incisiones erosivas en la superficie de los depósitos sedimentarios, entre otros rasgos erosivos. El intenso transporte sedimentario, los cambios climáticos y los deslizamientos gravitacionales son también factores a destacar en la configuración actual de su fisiografía.

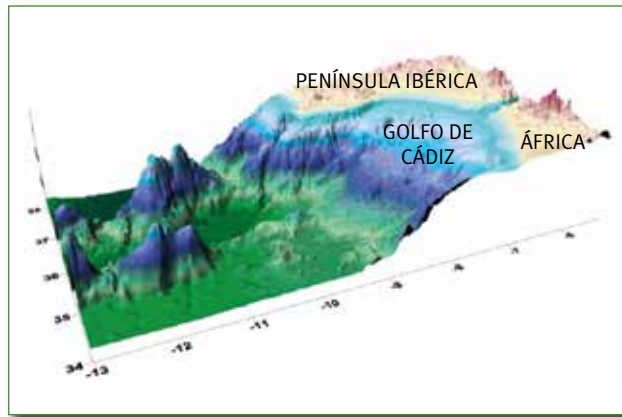
No obstante, el rasgo más característico de la superficie de los fondos marinos del golfo de Cádiz es su alteración natural, debido a la influencia que tiene sobre su morfología la existencia del fenómeno de expulsión de fluidos cargados en gases hidrocarburos, metano principalmente. La importancia de la expulsión sobre la superficie del fondo marino

reside en el hecho de que produce un cambio sustancial en la naturaleza y morfología de los depósitos sedimentarios, modificando los relieves preexistentes y generando nuevas estructuras que evolucionan condicionadas por la intensidad y frecuencia de las expulsiones. Los volcanes de fango son las estructuras más destacadas de las producidas por la emisión de sedimentos fluidificados cargados en gas. Dado que el fenómeno es de carácter discontinuo y, por lo general, difuso, origina la aparición de focos de emisión dispersos por toda la zona, cada uno de ellos con características particulares.

Las estructuras sedimentarias generadas por la expulsión de fluidos y sus singulares morfologías favorecen el desarrollo de una amplia variedad geoambiental que, a su vez, genera una alta variedad de hábitats de extraordinario interés y la aparición de focos de biodiversidad. La singularidad de estos hábitats recomienda que sean estudiados, desde una perspectiva interdisciplinar, en conjunción con los procesos geológicos que les han dado soporte, estableciendo así los rasgos geomorfológicos más característicos que son propios de los fondos marinos del golfo de Cádiz.

### DEFINICIONES

- **Diapiro:** estructura anticlinal en la que las capas más internas y móviles, evaporitas o lutitas muy dúctiles (arcillas con sales), perforan las capas externas formadas por rocas más competentes. || Estructura similar en geometría, producida por la intrusión de un magma.
- **Tectónica:** sinónimo de Geología Estructural. || Estudio de los aspectos más generales de la estructura continental, oceánica o global. || Conjunto de deformaciones de escala mayor que se expresan en las rocas y que definen a una región, permitiendo diferenciarla de otras.
- **Placa Litosférica:** cada una de las láminas rígidas en las que se divide la Litosfera y que en superficie se presentan como fragmentos de casquetes esféricos de contorno muy irregular. Su movimiento está regido por la dinámica que establece la tectónica de placas.
- **Contornítico:** depósitos sedimentarios formados por el efecto de transporte de las corrientes de contorno que recorren los márgenes continentales de todo el océano global.
- **Aplacerado:** forma de los relieves caracterizada por presentar una superficie horizontal o subhorizontal muy homogénea en toda su extensión.
- **Nefeloide:** capa turbia del fondo del océano que mantiene suspendida materia particulada fina.
- **Marga (margosas):** roca sedimentaria que contiene de un 35 a un 65% de carbonato cálcico y el resto de arcilla; presenta aspecto terroso y es fácilmente erosionable.



**Figura 4.1. y 4.2.** (Izquierda) Situación y división en dominios fisiográficos del talud continental en el contexto del golfo de Cádiz. (Derecha) Síntesis batimétrica obtenida a partir de datos conseguidos con sonda multihaz, en la que se observan los principales rasgos geomorfológicos que se comentan en este apartado. **Fuente:** IEO/GEMAR.

El litoral del suroeste peninsular se caracteriza por poseer una costa baja de carácter predominantemente arenoso, con playas que presentan importantes cordones dunares (ej.: Doñana). Los ríos Guadiana, Guadalquivir, Piedras, Tinto-Odiel, Guadalete y Barbate son algunos de los importantes ríos que aportan nutrientes y materiales a las aguas del golfo, formando ocasionalmente estuarios y marismas en sus desembocaduras. Toda la costa posee áreas bien conservadas que disfrutan de diversos grados de protección ambiental, lo que demuestra el alto valor natural y ecológico de la zona. Frente al litoral se desarrolla la plataforma continental, que muestra una superficie de pendiente suave que llega hasta los 100 ó 150 metros de profundidad, edificada con sedimentos procedentes, en mayor medida, de los aportes continentales. Su anchura media es de unos 30 kilómetros y mantiene su homogeneidad morfológica en todo el golfo. La batimetría está dominada por las isolíneas con una equidistancia regular, que mantienen la geometría de la línea de costa, dibujando un perfil cóncavo aguas afuera. En la plataforma interna predominan los sedimentos arenosos, haciéndose progresivamente más finos a medida que aumenta la profundidad y la distancia a la costa.

El talud continental es el dominio que presenta una mayor extensión en el golfo de Cádiz, alcanzando profundidades que superan los 2.000 metros. Presenta un relieve muy variado y su batimetría, en contraposición a la de la plataforma continental, está dominada por isolíneas irregulares, convexas aguas afuera,

que no guardan ninguna similitud con la línea de costa. Se pueden distinguir tres subdominios fisiográficos:

- (1) El talud superior. Se localiza entre los 130 y 400 metros de profundidad, alcanzado unos 10 kilómetros de anchura media, y posee un gradiente de pendiente suave. Entre las morfologías presentes destacan los relieves erosivos y algunos depósitos generados por la acumulación de material. Destaca la presencia de canales, surcos de drenaje y de flujo mediterráneo, así como cañones submarinos en el sector occidental del Golfo.
- (2) El talud medio. Se localiza entre los 400 y los 1.200 metros de profundidad. En esta zona, se produce una reducción brusca de la pendiente, con un valor inferior a  $1^\circ$ , lo que determina la formación de una superficie suavemente aplacerada del fondo marino. Puede interpretarse como una plataforma pelágica de gran extensión. Adquiere una anchura media de 100 kilómetros. La zona central del talud medio, frente a las localidades de Cádiz y Ayamonte, presenta una geomorfología muy variada, dominada por los relieves erosivos. Por su extraordinario tamaño destacan 4 canales contorníticos<sup>def</sup> denominados: Cádiz, Guadalquivir, Huelva y Gusano. Se asemejan a los cauces de grandes ríos submarinos excavados por la corriente existente en la superficie de fricción (capa nefeloide<sup>def</sup>). Alcanzan decenas de kilómetros de longitud, con anchuras que oscilan entre 1,5 y 10 kilómetros, y son capaces de profundizar en el sustrato marino hasta los 350 metros.

Presentan una geometría zigzagueante, con orientación preferente este/oeste debido a que han sido excavados por el agua mediterránea profunda. Es también reseñable la presencia de dos significativos sistemas montañosos, con orientación noreste/suroeste: las dorsales diapíricas de Cádiz y de Guadalquivir. Todos estos relieves están situados en un sistema contornítico que recorre el golfo de Cádiz de levante a poniente, y que ha sido ampliamente estudiado.

- (3) El talud inferior. Se trata de una franja localizada entre 1.200 y 2.000 metros de profundidad, con una anchura máxima de 50 kilómetros y una pendiente que oscila entre

2º y 4º. Está dominada por los sedimentos muy finos y por estructuras sedimentarias impuestas por los fenómenos de expulsión y la dinámica del flujo mediterráneo.

Los rasgos morfológicos más significativos son: (1) los que han sido producidos por el efecto de la tectónica salina (una combinación de la convergencia de las placas litosféricas<sup>def</sup> ibérica y africana, y de las deformaciones producidas en las unidades margosas<sup>def</sup> del mioceno, de naturaleza muy plástica), (2) por la erosión producida por las corrientes de fondo, y (3) por el fenómeno de expulsión de fluidos –algunas veces resultan de una combinación de los 3–. Las unidades principales son los volcanes de fango, los afloramientos diapíricos, los

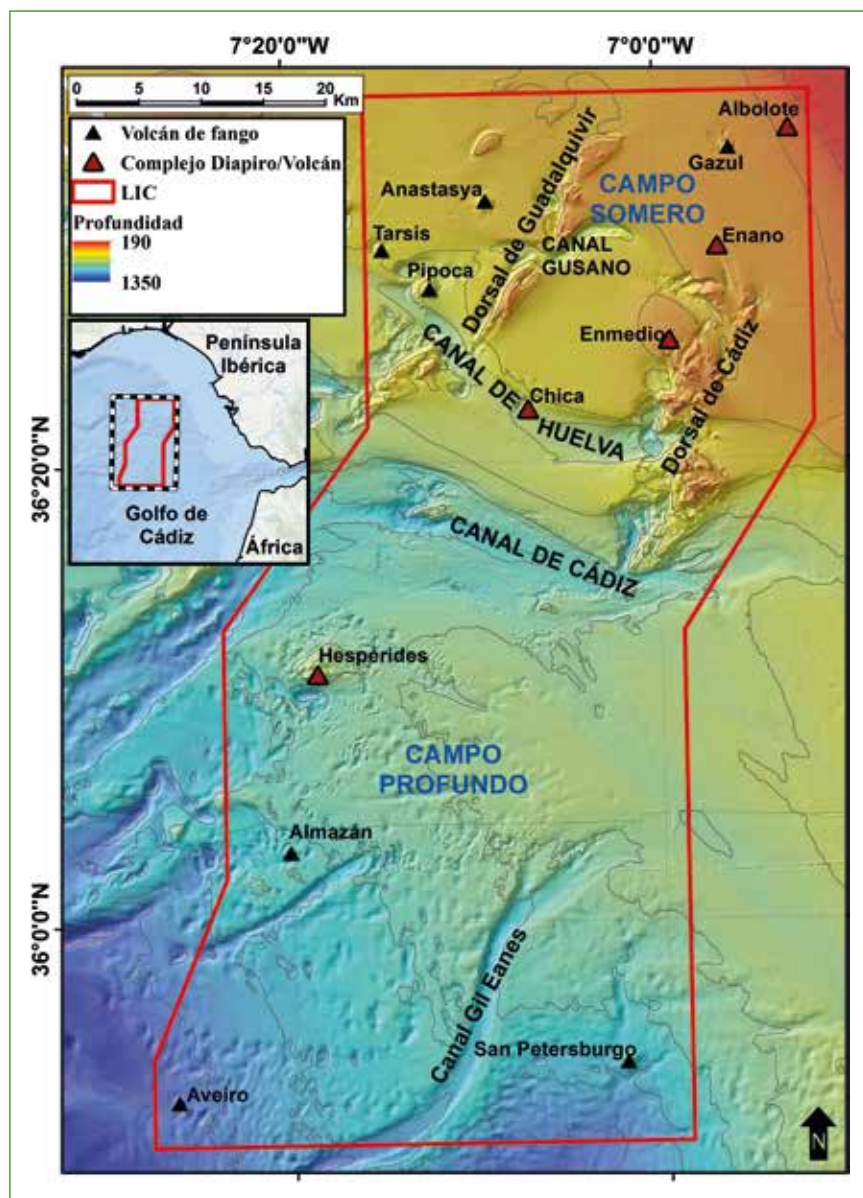


Figura 4.3. Localización de los principales relieves morfológicos del LIC. Fuente: IEO/GEMAR.

complejos diapiro<sup>def</sup>/volcán, las depresiones de colapso y los pockmarks (que se explicarán más adelante).

La zona LIC (polígono rojo en la figura 4.3) se encuadra en su totalidad dentro del talud continental, principalmente en el talud superior y medio. En función de la profundidad y de la concentración de volcanes de fango, se han identificado dos áreas más significativas: (1) el campo de expulsión somero, con profundidades comprendidas entre 300 y 730 metros (en el talud superior y medio), y (2) el campo de expulsión profundo, que se encuentra entre 800 metros y 1.200 metros de profundidad (talud medio). Ambos campos están separados por una profunda incisión en el sustrato, de carácter

erosivo, que se denomina el canal de Cádiz, formado por el efecto de arrastre de fondo de la corriente mediterránea profunda. Este canal se inicia en las inmediaciones del estrecho de Gibraltar y desagua en la llanura abisal, frente al cabo de San Vicente (Portugal).

A continuación, se describen los procesos de formación y las características generales de las morfologías que componen el hábitat 1180:

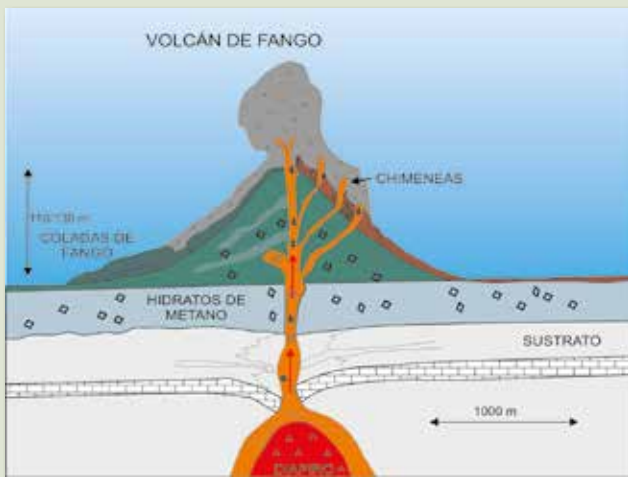
**Volcanes de fango.** Son edificios cónicos formados por la migración vertical de fango y fluidos sobresaturados en gases hidrocarburos (principalmente metano), que son expulsados mediante emisiones, más o menos continuas, a muy alta presión y baja temperatura.

### La formación de los volcanes de fango

El proceso de formación de un volcán de fango es muy lento. Se inicia cuando los sedimentos del subsuelo marino sobresaturados en gases (principalmente metano, aunque se ha detectado la presencia en menores proporciones de algunos otros, como el propano, butano y etano) se encuentran fluidificados. Al ser estos materiales más ligeros que los que presionan sobre ellos, buscan vías de salida hacia la superficie del fondo marino. Para ello, utilizan las discontinuidades existentes entre las capas sedimentarias, fallas o microfacturas provocadas por el aumento de presión debida a la tectónica salina (diapirismo). La migración vertical de fluidos produce la movilización de fango y la formación de brecha fangosa (matriz de fango que engloba algunos cantos de tamaño arena-gravosa derivados del arrastre) hacia la superficie, por lo que se incrementa la complejidad sedimentológica de las unidades superiores que componen el fondo marino. En su ascenso a través de los depósitos sedimentarios que atraviesa el fluido, va arrastrando el material más fino que, al llegar a la superficie del fondo, se inyecta en la columna de agua, produciendo plumas de material que ascienden desde el fondo hasta alcanzar alturas elevadas, por lo general muy variadas, en función de la presión a la que hayan sido eyectadas. El material así expulsado queda un tiempo resuspendido

en el seno de la masa de agua para, posteriormente, precipitarse sobre el fondo, provocando la construcción de un cono sedimentario compuesto por material muy fino que descansa sobre el foco de emisión.

Cuando la expulsión es progresiva, parte del fango que asciende queda retenido en la misma superficie y participa de la edificación del cono volcánico. Si la actividad de expulsión se mantiene suficientemente activa en el tiempo, permitiendo que los flujos sigan ascendiendo, entonces se producen coladas de fango que



Esquema explicativo de formación de un volcán de fango. Fuente: IEO/GEMAR.

se deslizan a lo largo de las vertientes, imprimiendo al volcán una morfología muy particular. También suele haber emisiones en las propias vertientes del nuevo relieve (no siempre se localizan en la cúspide del cono volcánico), lo que imprime mayor complejidad estructural al conjunto.

La forma que irá adquiriendo el edificio volcánico fangoso dependerá de las condiciones hidrodinámicas que gobiernen el lugar en el que se ha formado. Una vez que se inicia la edificación del cono, parte del gas va quedando retenido en su interior. Esta circunstancia aumenta la concentración de gases en el interior de los sedimentos, lo que facilita la mayor actividad bacteriana de los consorcios de microorganismos dependientes del metano y del sulfuro. La importancia de dichos consorcios bacterianos (archaeas y bacterias) reside en el hecho de que son las responsables del consumo de la mayor parte del metano movilizadado en el interior de los sedimentos. Mediante la oxidación anaeróbica del metano y la reducción de sulfato se facilita la precipitación de carbonatos y la formación de estructuras carbonatadas autigénicas: chimeneas, costras y enlosados. Por ejemplo, las chimeneas son estructuras tubulares que pueden alcanzar varios metros de longitud y que se forman en el interior de los conos volcánicos fangosos a medida que el gas asciende y es consumido por los consorcios bacterianos.

Las bioconstrucciones constituidas por carbonatos autigénicos pueden llegar a aflorar o bien ser desenterradas (exhumadas) por el efecto de las corrientes marinas profundas. Estas nuevas zonas de sustrato rocoso en la superficie sirven de soporte para especies sésiles formadoras de hábitats, como son los corales de aguas frías; de aquí, la gran importancia que tienen, en términos de hábitats, los carbonatos autigénicos formados por la expulsión de gases.



Ejemplos de chimeneas y otros carbonatos autigénicos presentes en los volcanes de fango del golfo de Cádiz.  
Fuente: IEO/GEMAR.

En el campo somero de expulsión se localizan 4 volcanes de fango: Anastasya, Pipoca, Tarsis y Gazul. En el campo profundo se emplazan 3 volcanes de fango, denominados Almazán, Aveiro y San Petersburgo.

**Afloramientos diapíricos.** Su presencia en el sustrato provoca un abombamiento de la superficie del fondo marino que progresa a medida que se produce el lento ascenso de los materiales plásticos que lo componen.

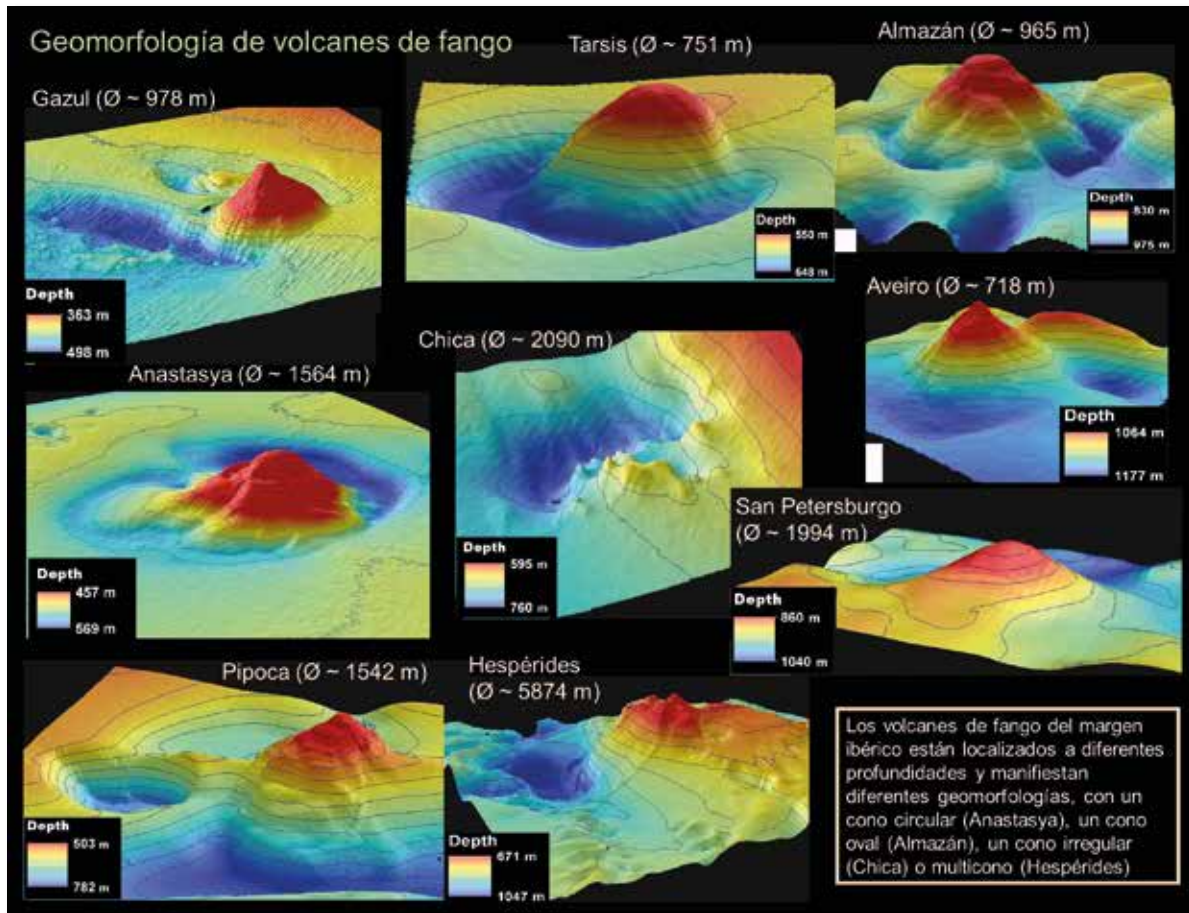


Figura 4.4. Geomorfología de los principales volcanes de fango y complejos diapiro/volcán ubicados en el LIC. Fuente: IEO/GEMAR.

Estos materiales proceden de unidades geológicas más profundas, que se elevan hasta las inmediaciones de la superficie del fondo marino, y que cuando llegan a aflorar producen las referidas dorsales diapíricas (Cádiz y Guadalquivir) o los diapiros aislados (ej.: Cristóbal Colón). Las expulsiones activas de material en los diapiros generan, por lo general, conos volcánicos, razón por la cual no siempre están presentes en sus cumbres.

Dentro del campo somero se han identificado varios afloramientos diapíricos aislados denominados: Juan Sebastián Elcano, Cristóbal Colón y Magallanes, que forman parte de la dorsal de Guadalquivir, que recorre todo el talud continental en dirección noreste/suroeste. La catalogación inicial de algunos rasgos morfológicos hizo sospechar la existencia de posibles expulsiones de fluidos en su superficie, como es la presencia de algunos montículos

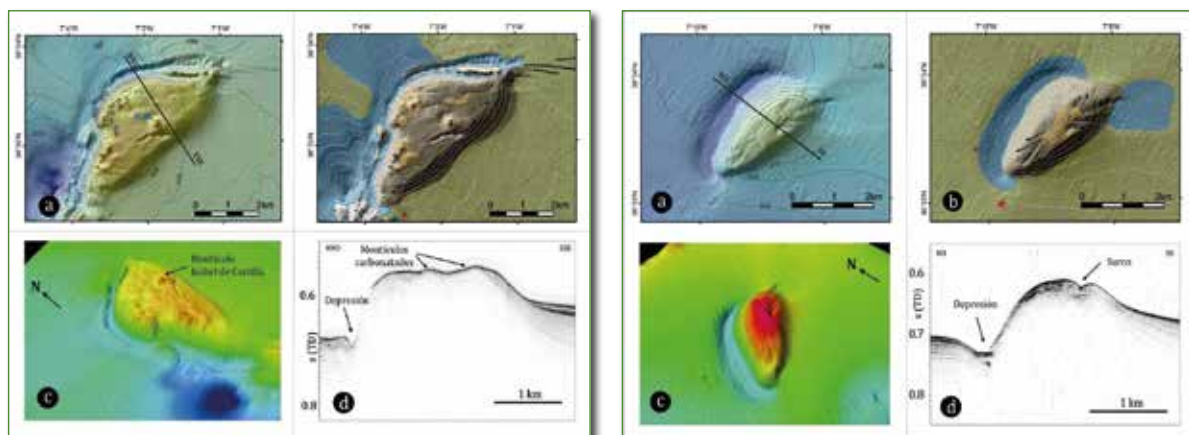


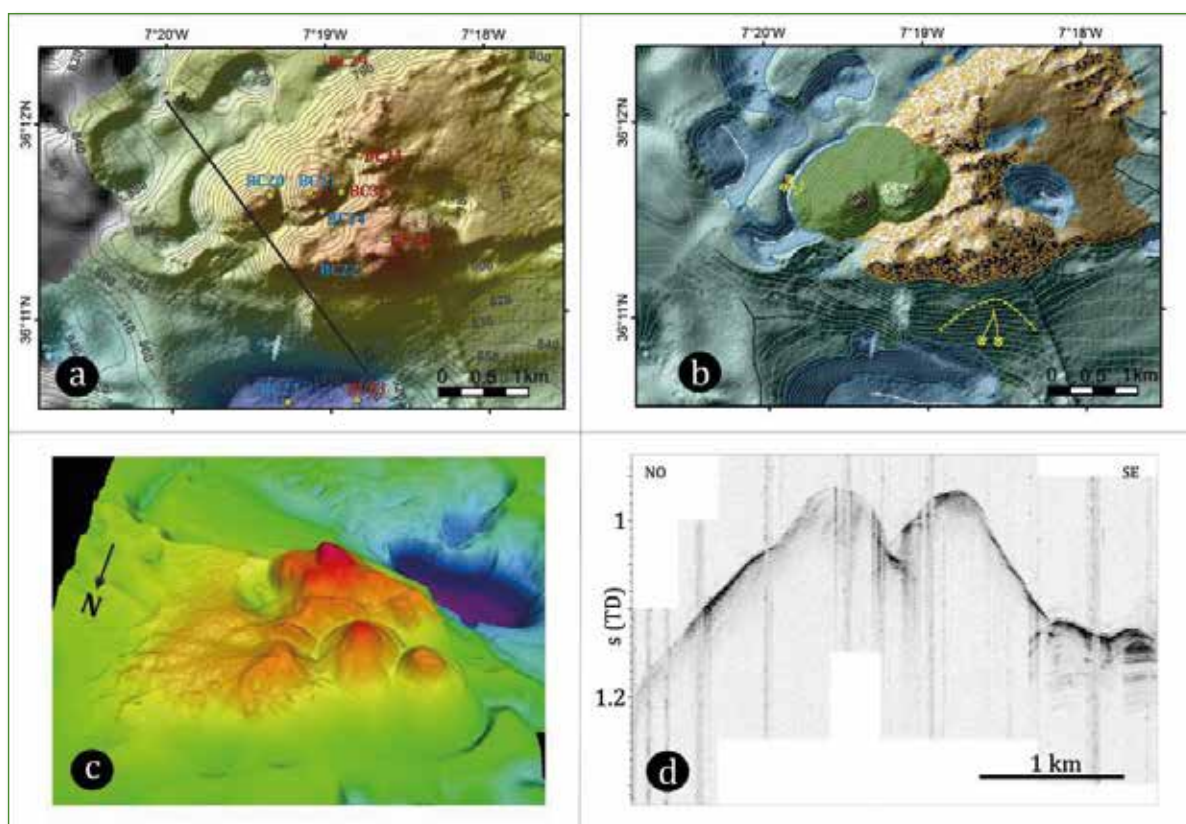
Figura 4.5. Morfología de los afloramientos Cristóbal Colón (izquierda) y Juan Sebastián Elcano (derecha). Fuente: IEO/GEMAR.

carbonatados, principalmente en las crestas de sus cumbres. En los muestreos realizados se ha puesto de manifiesto que el hábitat 1180 no estaba presente en ninguno de ellos, pero sí pudo observarse la existencia de corales con diversos niveles de ocupación.

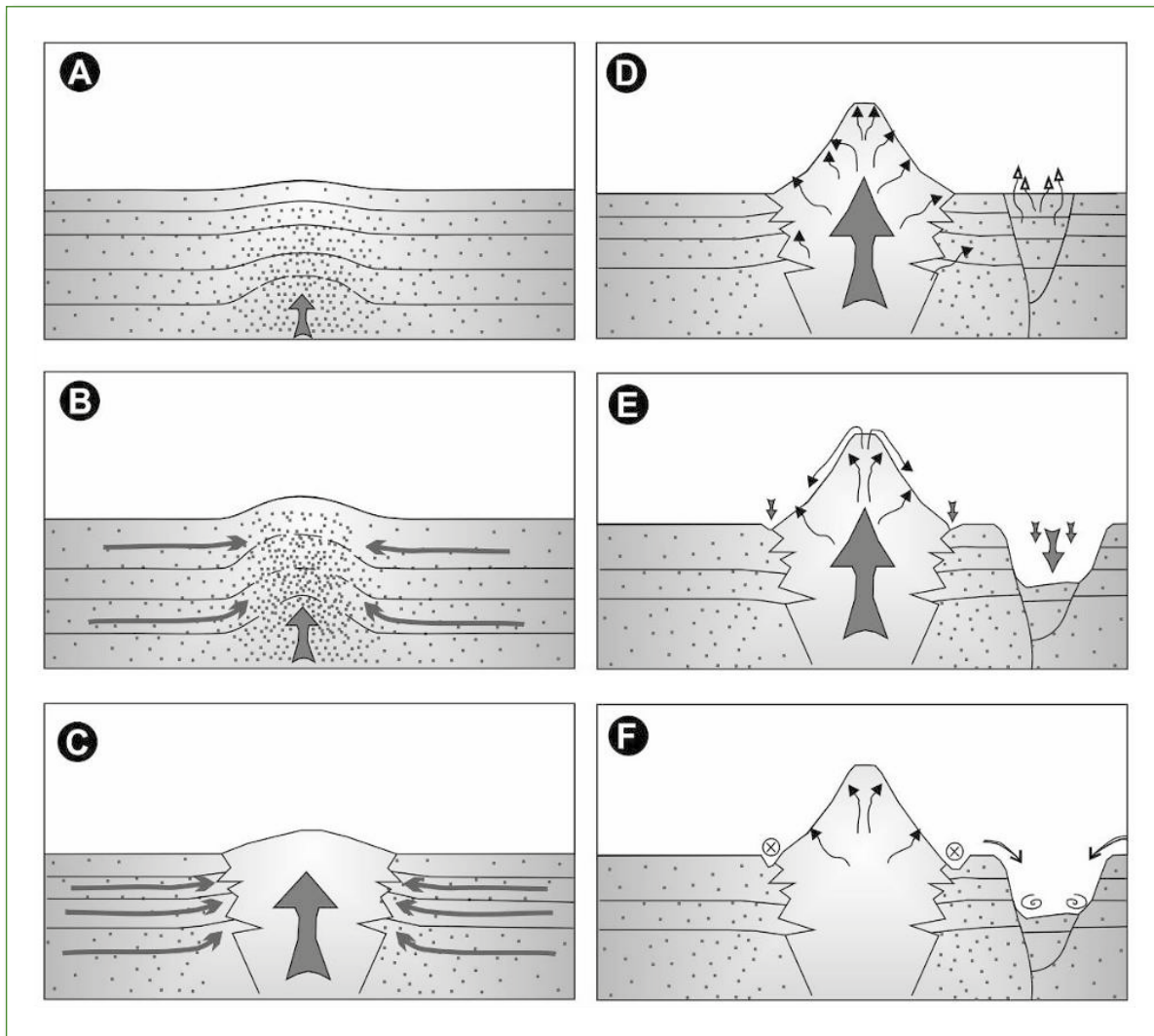
**Complejos diapiro/volcán.** En este grupo se incluyen los relieves que poseen una génesis diapírica, pero que albergan volcanes de fango en alguna de sus cumbres. En dichos complejos abundan los carbonatos autigénicos (costras y chimeneas), que tienen su origen en la actividad bacteriana vinculada a la expulsión de fluidos saturados en gases hidrocarburos. Ejemplos de esta tipología los podemos encontrar en el talud superior y medio, manifestándose el fenómeno con edificios de dimensiones muy variadas. El que alcanza mayores dimensiones es el complejo Hespérides (situado en el campo profundo, en las inmediaciones de la ribera meridional del canal de Cádiz), que presenta una característica estructura multicóno. Otro complejo importante de este tipo es el denominado Chica (situado en la ribera septentrional del canal de Huelva, en el campo somero). Existen otras unidades de

menor entidad, pero no de menor importancia, como son Albolote (el complejo más somero de los localizados hasta la fecha), Enmedio y Enano.

**Depresiones de colapso.** Se localizan, por lo general, en las inmediaciones de los principales volcanes de fango y complejos diapiro/volcán. Se originan por efecto de la fluidificación de los depósitos sedimentarios superficiales y la expulsión de los fluidos intersticiales que migran lateralmente en dirección al volcán cercano. En estas condiciones, el fondo marino colapsa (se derrumba) verticalmente. La diversidad geomorfológica de las depresiones de colapso es alta, variando desde las que poseen una geometría subcircular (Pipoca) hasta las de geometría casi rectangular (Hespérides). Las paredes de las depresiones son escarpadas y el fondo es notablemente aplacerado<sup>def</sup>. El desnivel existente entre la superficie batimétrica de referencia (la que determina la profundidad a la que se produce el inicio de la depresión de colapso) hasta el fondo más profundo de la depresión puede ser de decenas de metros (alcanzando hasta



**Figura 4.6.** a) Muestreos realizados en el complejo Hespérides, localizados sobre un mapa con la batimetría multihaz, junto con la posición del perfil sísmico que se muestra en el apartado d en esta figura; b) interpretación morfológica realizada y representada sobre un mapa de sombras; c) modelo 3D con iluminación a 315°; d) fragmento de perfil sísmico en el que se observan los dos conos principales. **Fuente:** IEO/GEMAR.



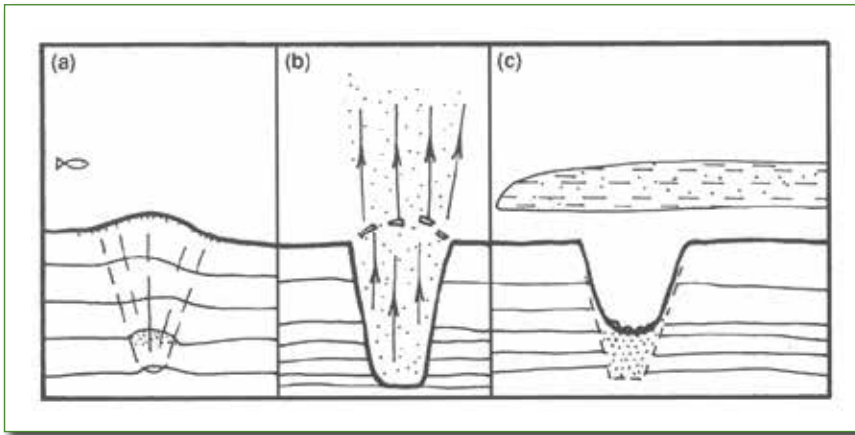
**Figura 4.7.** Modelo en el que se explica la formación de las depresiones de colapso. A) Fase de abombamiento, causada por la sobrepresión de los fluidos ascendentes. B) Estructura superficial en forma de domo mientras que en el interior del sedimento se comienzan a romper los estratos. C) Se produce la chimenea acústica (foco de emisión). D) Se forma el volcán de fango: el material es expulsado mediante sucesivas erupciones y la migración de los fluidos se favorece también por la presencia de fallas normales. E) Fase de hundimiento y formación de la depresión de colapso. F) Fase de latencia del volcán, en la que las corrientes profundas erosionan y retocan las depresiones. **Fuente:** IEO/GEMAR.

150 metros en el caso de Hespérides). Por lo general, presentan en su interior abundantes estructuras carbonatadas, que pueden haber sido generadas in situ o bien haber sido arrastradas desde los conos volcánicos por efecto de la erosión de las vertientes del volcán, al quedar exhumadas aquellas estructuras.

**Pockmarks (y valles ciegos).** Los pockmarks son estructuras formadas en la superficie del fondo marino que afectan, única y exclusivamente, a las capas sedimentarias superficiales. Se presentan como pequeñas depresiones de geometría bien definida, por lo general cónica invertida, aunque su planta puede variar desde las de carácter circular hasta elipsoidal o, incluso, marcadamente

asimétrica. Están provocados por la emisión súbita y puntual de fluidos, que ascienden a través de las fisuras existentes en el interior de los depósitos. Los fluidos, cuando alcanzan la superficie del fondo, son eyectados con mucha presión en el interior de la columna de agua, formando una pluma de material de vida efímera. Este fenómeno se origina en áreas dominadas por la tectónica salina, en la que los fluidos pueden ser de naturaleza hipersalina e hidrotermal. En el proceso de ascenso y expulsión en el fondo marino incorporan cantidades variables de gases y otros compuestos acumulados en los sedimentos. Esta es la razón por la que los pockmarks tengan una inmensa diversidad de morfologías y maneras de agruparse,





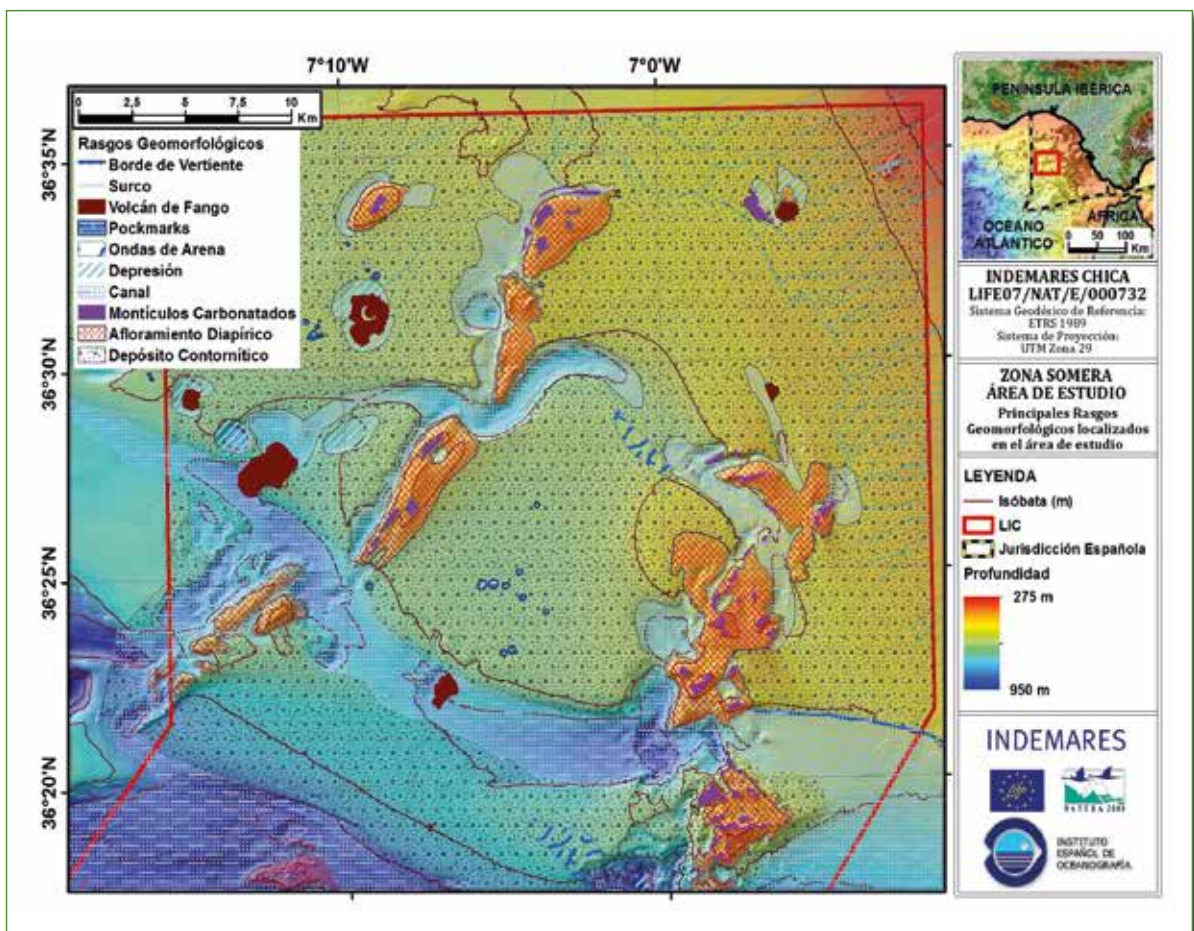
**Figura 4.8.** Modelo conceptual de formación de pockmarks. (a) El gas, o bien el agua intersticial, en su ascenso, sobrepresiona las capas superiores y forma una ligera estructura en domo; (b) La presión en el agua intersticial tiende a extruir súbitamente el sedimento fluidificado, eyectando dicho fluido en el interior de la columna de agua; (c) Las partículas eyectadas más finas se mantienen en suspensión y se transportan más allá del lugar del que fueron expulsadas.

**Fuente:** Hovland&Judd, 2007.

existiendo algunos de carácter semi aislado y otros de aspecto gregario, llegando incluso a la coalescencia, formando verdaderos canales que son retocados posteriormente por las corrientes profundas (valles ciegos o *blindvalleys*).

más abundante. Por tanto, no es extraño que en el campo profundo se encuentre la mayor abundancia de pockmarks y, de hecho, su fondo está salpicado de abundantes pockmarks, confiriéndole un aspecto moteado fácilmente visible en la cartografía.

El fondo del pockmark puede estar ocupado por carbonatos autigénicos enriquecidos en sulfatos, producto de la precipitación geoquímica de los flujos hipersalinos ascendentes. Los pockmarks son abundantes en todo el LIC, pero es en el campo profundo donde la influencia de la emisión de fluidos es más notable y donde la presencia de hidratos de gas es



**Figura 4.9.** Principales rasgos geomorfológicos localizados en el campo de expulsión somero del LIC. **Fuente:** IEO/GEMAR.

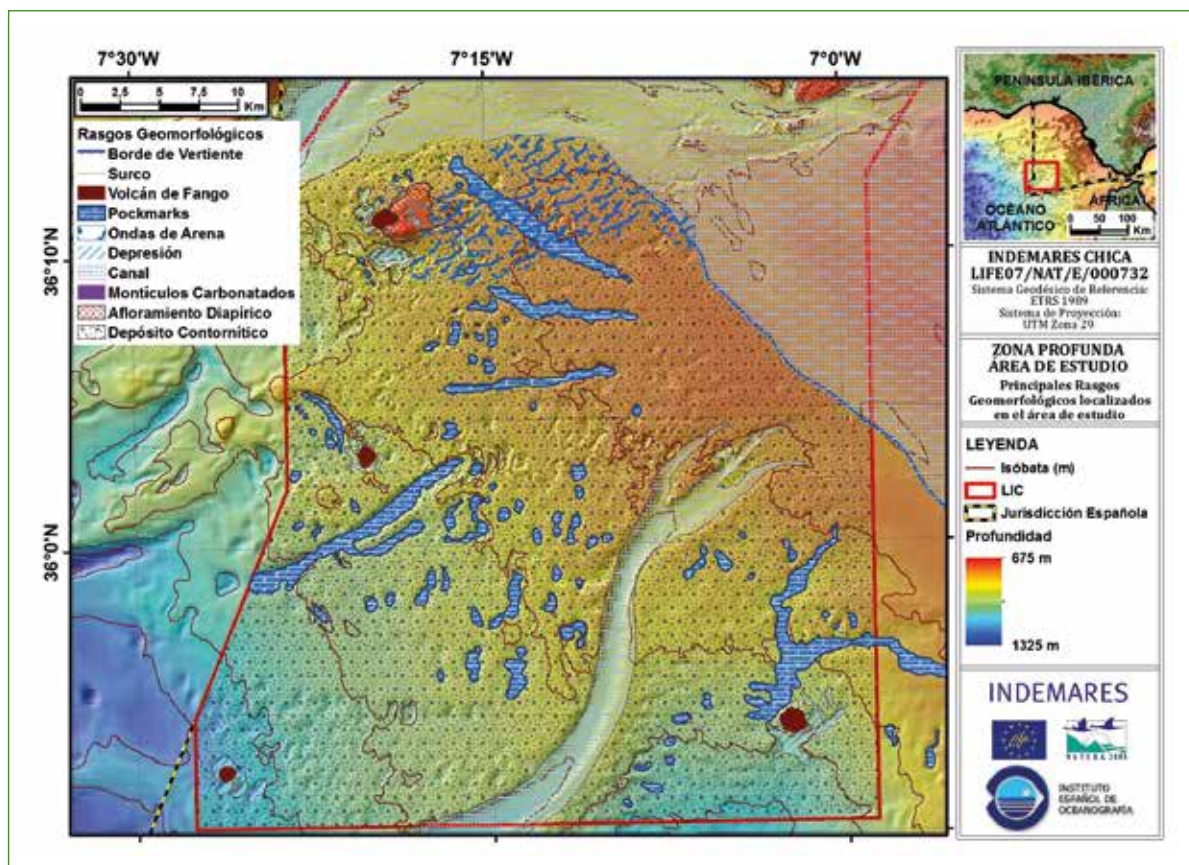


Figura 4.10. Principales rasgos geomorfológicos localizados en el campo de expulsión profundo del LIC. Fuente: IEO/GEMAR.

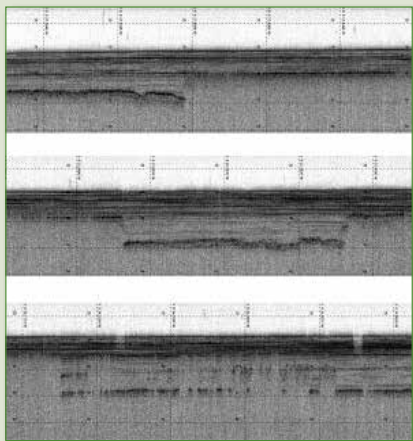
### ¿Por qué la presencia de gas en los depósitos del río Guadalquivir?

Cada episodio de lluvias y/o tormentas en una cuenca fluvial provoca una fuerte avenida, haciendo que el potente caudal arrastre consigo gran cantidad de material en suspensión (orgánico e inorgánico, procedente de la cuenca de drenaje). Al llegar a la desembocadura el agua del río, se forma una pluma de turbidez con todo ese material transportado (carga fluvial). A continuación, comienza la mezcla con el agua marina, que variará en función de las densidades de ambas masas de agua y de las condiciones hidrodinámicas marinas en el momento de la avenida. La pluma así formada se va desplazando, forzada por las corrientes de deriva litoral y, poco a poco, va decantando a lo largo del litoral y de la plataforma continental el material que englobaba.



Ejemplo de plumas de turbidez en el golfo de Cádiz tras episodios intensos de lluvia (pluviometría). Fuente: NASA.

Los restos orgánicos existentes en la columna de agua (fruto de la actividad biológica pelágica) que se depositan sobre el lecho marino se cubren progresivamente por material procedente de la siguiente avenida. De esta forma, durante millones de años, se edifica la serie sedimentaria que va sellando progresivamente gran cantidad de material biogénico con los sucesivos aportes terrígenos del río. La materia orgánica, depositada y acumulada en el interior de los sedimentos, se descompone en un ambiente en el que no hay oxígeno (anóxico). Fruto de este proceso se empieza a generar un fluido enriquecido



Fragments de secciones sísmicas obtenidas con sonda paramétrica, en las que se puede observar el efecto de apantallamiento que producen las acumulaciones de gas somero en los depósitos del río Guadalquivir (la distancia entre marcas verticales es de unos 200 metros y en vertical 120 milisegundos en tiempos dobles). **Fuente:** IEO/GEMAR.

en hidrocarburos (principalmente metano y, en menores proporciones, propano, etano y butano), que quedará atrapado en el interior del depósito sedimentario.

El escape del gas hacia la superficie del depósito fluviomarino está posibilitado por el efecto de las migraciones laterales del gas, la diferente porosidad de los sedimentos, o bien la fracturación de las capas sedimentarias. La hidrodinámica que afecta a la superficie de fricción de los depósitos (nivel superficial afectado por el rozamiento de los flujos de agua que circula pegada al fondo marino) también puede provocar la alteración de los gases hidrocarburos existentes bajo los sedimentos superficiales. La alteración de estos gases desencadena un conjunto de fenómenos relacionados con la desestabilización del gas hidrato y la generación de gas libre –fundamentalmente metano– que escapa del fondo marino, atravesando las capas superiores del sedimento, alcanzando así la columna de agua.

Este fenómeno puede dar lugar al desarrollo de unos singulares ecosistemas quimiosintéticos (hábitat 1180) en aquellos lugares en los que se producen dichos escapes de gas. La importancia ambiental del fenómeno reside en su contribución a la atmósfera de gases invernadero (fundamentalmente metano), aspecto que puede ser un factor no suficientemente evaluado en los modelos al uso de cambio climático.



# 5 La confluencia de las masas de agua atlántica y mediterránea: un éxito para la biodiversidad

El estrecho del Gibraltar es un lugar de importancia global en el que se produce el intercambio de la masa de agua atlántica, que circula en superficie en dirección al mar Mediterráneo, y la masa de agua mediterránea, que lo hace en profundidad en dirección al océano Atlántico. Este intercambio determina el régimen dinámico del golfo de Cádiz, al reflejar los efectos de dicha confluencia en toda su extensión. De esta forma, se crea el ambiente propicio para el desarrollo de una particular diversidad biológica, al favorecer la alta productividad de sus aguas. En consecuencia, el estudio del régimen hidrodinámico del golfo de Cádiz permite identificar los efectos que produce la masa de agua mediterránea en el desarrollo de los hábitats sobre la superficie del fondo marino. El flujo mediterráneo, una vez que ha penetrado en el golfo de Cádiz, interactúa activamente con el relieve submarino, desempeñando así una doble función: (1) estimula el desarrollo de una particular hidrodinámica a menor escala, fenómeno que interactúa con los procesos sedimentarios dominantes; (2) subdivide, horizontal y verticalmente el flujo de agua principal en diversos ramales, que dejan su impronta sobre la superficie del fondo.

Existe una estrecha relación entre las comunidades bentónicas que se desarrollan en aguas profundas, el flujo de agua que circula sobre el fondo, el tipo de sustrato y los procesos geológicos regionales. Este hecho se

pone de manifiesto de una manera particular con el desarrollo de los volcanes de fango. Es precisamente la acción combinada de todos estos factores lo que permite el desarrollo de una amplia gama de hábitats y de comunidades biológicas asociadas, incluyendo algunas tan dispares como son los corales de aguas frías – de muy alto valor ecológico– y las comunidades quimiosintéticas<sup>def</sup> –de gran singularidad en el contexto europeo–.

El estudio del intenso hidrodinamismo existente en el fondo marino en el área, donde se producen los fenómenos de expulsión de gases, y su interacción con la morfología es clave para conocer y comprender la influencia de los factores oceanográficos en el desarrollo y mantenimiento de las comunidades bentónicas de aguas profundas que allí se desarrollan.

El estudio de la compleja estructura de las masas de agua que circulan en el golfo de Cádiz permite establecer los siguientes estratos hidrológicos, que de menor a mayor profundidad son los siguientes:

1. Masa de Agua Superficial Atlántica (*Atlantic Surface Water, ASW*). Es la capa más superficial de agua y está sujeta a una alta estacionalidad y a las interacciones atmósfera/océano.
2. Masa de Agua Central Noratlántica (*North-Atlantic Central Water, NACW*). Esta capa ocupa el espacio comprendido entre la

## DEFINICIONES

- **Termohalina:** relativo a las propiedades de temperatura y salinidad de una masa de agua marina, las cuales determinan su densidad y condicionan, en cada momento, su comportamiento.
- **Cinemática:** parte de la física que estudia el movimiento prescindiendo de las fuerzas que lo producen.
- **Quimiosintético:** son aquellos organismos capaces de sintetizar moléculas de materia orgánica a partir de moléculas inorgánicas simples, utilizando como fuente de energía la oxidación o reducción de compuestos inorgánicos.
- **Vórtice:** torbellino, remolino. El Centro de un ciclón.
- **Sotavento:** la parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado.

capa superficial y, aproximadamente, entre los 250 y 500 metros de profundidad, cerca del estrecho de Gibraltar, o bien entre los 250 y 1.400 metros de profundidad, en el margen más alejado del mismo.

3. Masas de Aguas Mediterráneas (*Mediterranean Water*, MOW): predominante en las aguas intermedias.
4. Agua Profunda Noratlántica (*North Atlantic Deep Water*, NADW), que circula en la parte más externa del golfo de Cádiz, a profundidades superiores a los 1.500 metros.

A la masa de agua mediterránea, que ya ha penetrado en el golfo de Cádiz, en la zona más próxima al estrecho de Gibraltar, se la denomina *Mediterranean Outflow Water* (MOW). Por esta razón, en el resto del texto se la nombrará de esta manera, ya que es la forma en la que es conocida por la comunidad científica. Por sus características dinámicas, cinemáticas<sup>def</sup> y termohalinas<sup>def</sup>, así como por propagarse como una corriente de gravedad pegada al fondo y altamente ajustada a la batimetría, la MOW es la masa de agua más característica en el golfo de Cádiz.

La MOW se origina en el entorno del estrecho de Gibraltar y se compone de una mezcla de aguas mediterráneas intermedias salientes y de agua atlántica de entrada. Se presenta como una capa intermedia que ocupa un rango de profundidades comprendido entre 300 y 1.700 metros y que resulta apreciable gracias a los incrementos significativos de temperatura y salinidad con respecto al agua circundante. Se considera agua proveniente del Mediterráneo aquella masa de agua con salinidad comprendida entre 36 y 36,8 y una temperatura dentro del rango 10-13 grados centígrados. Estas propiedades se van diluyendo paulatinamente a medida que el flujo se desplaza hacia el oeste y, en su caída hacia el interior del golfo –pendiente abajo del talud–, experimenta una fuerte componente de mezcla con el agua central noratlántica (NACW). La MOW es un flujo persistente que circula a lo largo y ancho del talud continental, aunque su volumen, caudal y propiedades termohalinas pueden variar considerablemente. Esta subcorriente mediterránea fluye durante todo el año, aunque parece intensificarse durante la primavera y el verano, debido a las mayores tasas de evaporación en el Mediterráneo durante ese periodo.

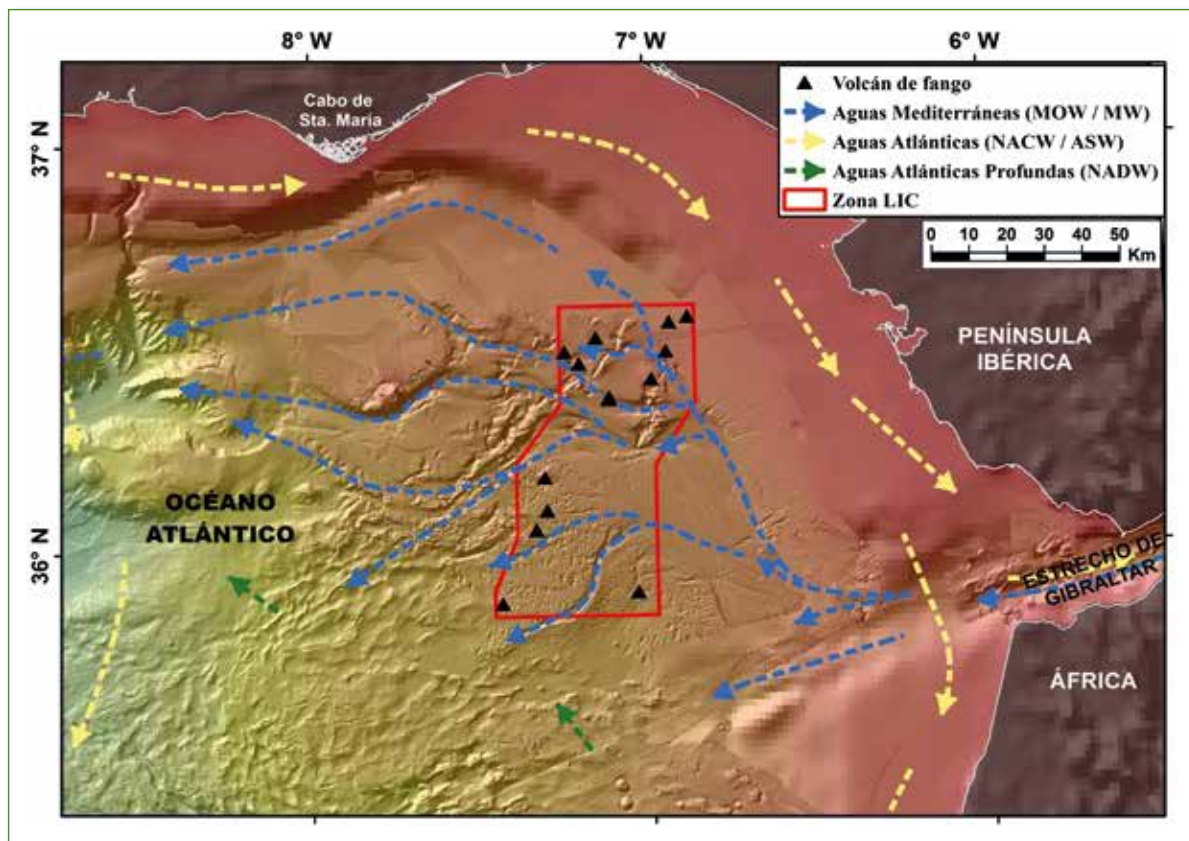


Figura 5.1. Representación esquemática de las principales masas de agua que circulan en el golfo de Cádiz. Fuente: IEO/GEMAR.

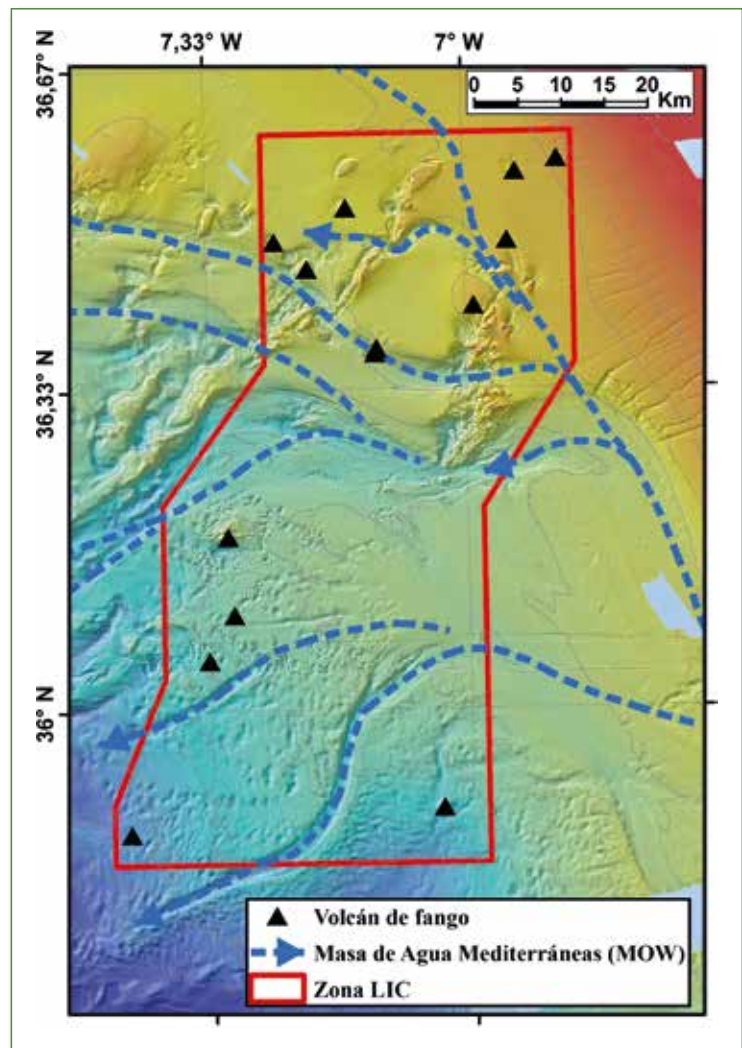
A su salida a través del estrecho de Gibraltar, se desborda como una masa de agua más densa que las vecinas y desciende bruscamente, buscando su profundidad de equilibrio. A medida que se propaga hacia el interior del golfo de Cádiz, va incrementando su profundidad, como subcorriente de gravedad que circula pegada al talud continental.

El modelo conceptual se basa en el hecho de que en su fase inicial la MOW se desplaza hacia el noroeste, impulsada hacia el talud, gracias al efecto de la rotación terrestre, e influenciada en gran medida por los relieves submarinos. En esta propagación hacia el oeste se va subdividiendo, horizontal y verticalmente, en un nutrido número de ramas o venas.

### La interacción de las masas de agua con el fondo

Los procesos de mezcla lateral y vertical en las venas principales de la MOW están fuertemente influenciados por la existencia de accidentes batimétricos (relieves submarinos) a lo largo del talud continental. La propia fricción de la MOW sobre el fondo marino genera nuevos relieves de carácter, por lo general, erosivos, aunque también se forman algunos de tipo acumulativos. Se va produciendo, de esta manera, una compleja red de relieves escavados sobre los depósitos sedimentarios que configuran el fondo marino y que constituyen el sistema deposicional contornítico. Entre los relieves más frecuentes destacan los siguientes: canales contorníticos, valles marginales y grandes surcos aislados.

Este complicado contexto morfosedimentario refleja un progresivo decremento en la capacidad erosiva y de influencia de la MOW sobre la morfología del fondo marino, ya que su velocidad decrece progresivamente a medida que se desplaza hacia el noroeste. Los valores mayores de velocidad se alcanzan en las inmediaciones del estrecho de Gibraltar, superando los 0,7 metros/segundo (se han

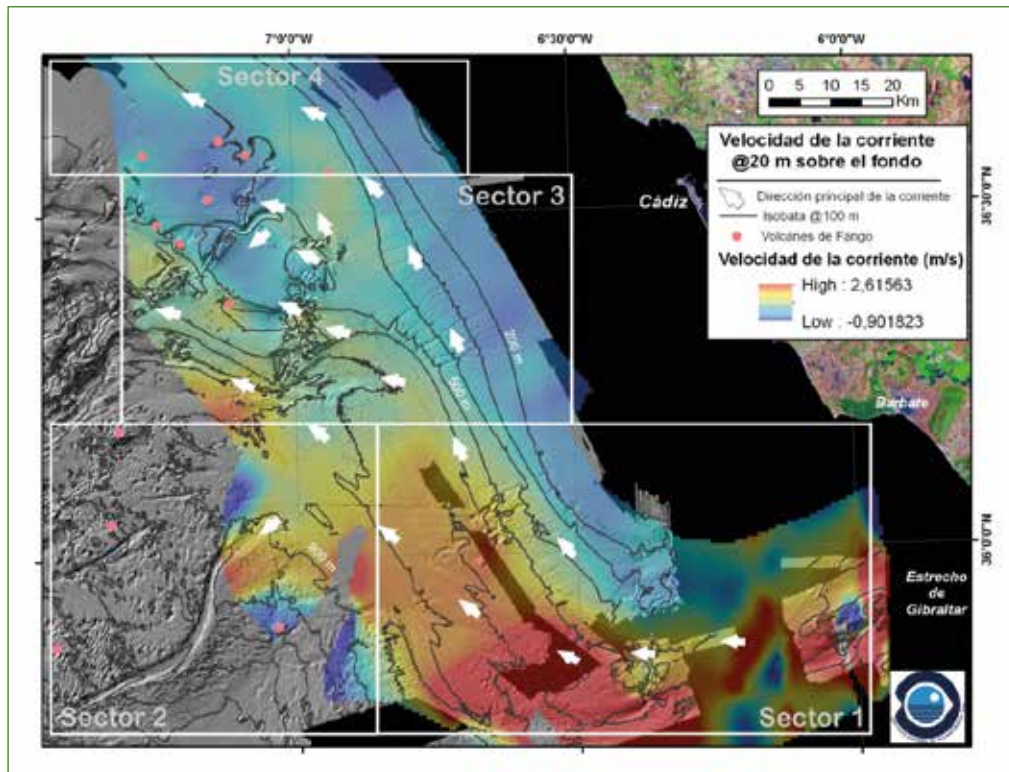


**Figura 5.2.** Representación esquemática de las subdivisiones de la MOW a través del LIC Volcanes de fango del Golfo de Cádiz. **Fuente:** IEO/GEMAR.

registrado velocidades de 1,2 metro/segundo en zonas anejas al Estrecho, si bien son datos que se restringen a la zona más oriental del Golfo en el canal principal de salida), de forma tal que va, progresivamente, decreciendo hasta alcanzar los 0,2 metros/segundo en las zonas de menor velocidad, aunque existen notables variaciones locales.

La combinación de la información hidrodinámica y morfosedimentaria, junto con la posición que ocupan con respecto al estrecho de Gibraltar, permite establecer 4 sectores morfodinámicos con características diferentes:

5. Sector suroriental. Es el sector más próximo a la salida del estrecho de Gibraltar y el lugar en el que se alcanzan los máximos valores de velocidad de toda el área. Dichos valores siguen un patrón de forma que las velocidades mínimas se observan sobre el



**Figura 5.3.** Distribución espacial de la velocidad de la corriente a 20 metros del fondo marino. Las flechas indican la dirección predominante de dicha corriente en cada una de las localizaciones. Sectores: (1) Suroriental; (2) Suroccidental; (3) Central; (4) Septentrional. **Fuente:** IEO/GEMAR.

talud superior, aumentando en zonas de mayor profundidad. Este flujo turbulento e intenso de la MOW determina la existencia sucesiva, en su desplazamiento hacia el noroeste, de afloramientos rocosos, superficies abrasivas, surcos erosivos y campos de ondas de arenas.

6. Sector suroccidental. La corriente de fondo toma una dirección este-oeste y noreste-suroeste, adaptándose a la morfología de los canales y grandes surcos erosivos existentes en la zona. Destaca el canal Gil Eanes (figura 5.3), lugar en el que las medidas de corriente, en su parte oriental, indican valores todavía elevados.

7. Sector central. Las velocidades del flujo son ya mucho menores y presentan un patrón de distribución espacial más complejo. La compleja interacción entre el flujo de la MOW y la batimetría se manifiesta de diferentes formas:

- La desviación de la dirección del flujo que transporta la MOW cuando interacciona con las dorsales diapíricas. Se observa tanto en la dorsal de Guadalquivir como en la dorsal de Cádiz.

- Se produce un aumento de la velocidad en aquellas zonas donde el flujo se canaliza por sectores angostos, o bien donde la erosión ha llegado a excavar complejas incisiones sobre los depósitos contorníticos. Son los casos del canal Gusano y del canal de Cádiz.

- Se observan canales marginales y depresiones en los flancos, a sotavento<sup>def</sup> de la corriente, generados por el salto hidráulico que supone el paso de la corriente por las cumbres de los de las dorsales diapíricas.

- El aumento de velocidad de la MOW sobre el fondo evita que se produzcan depósitos (ej.: abanicos) de los materiales transportados por los numerosos canales de desagüe de la plataforma.

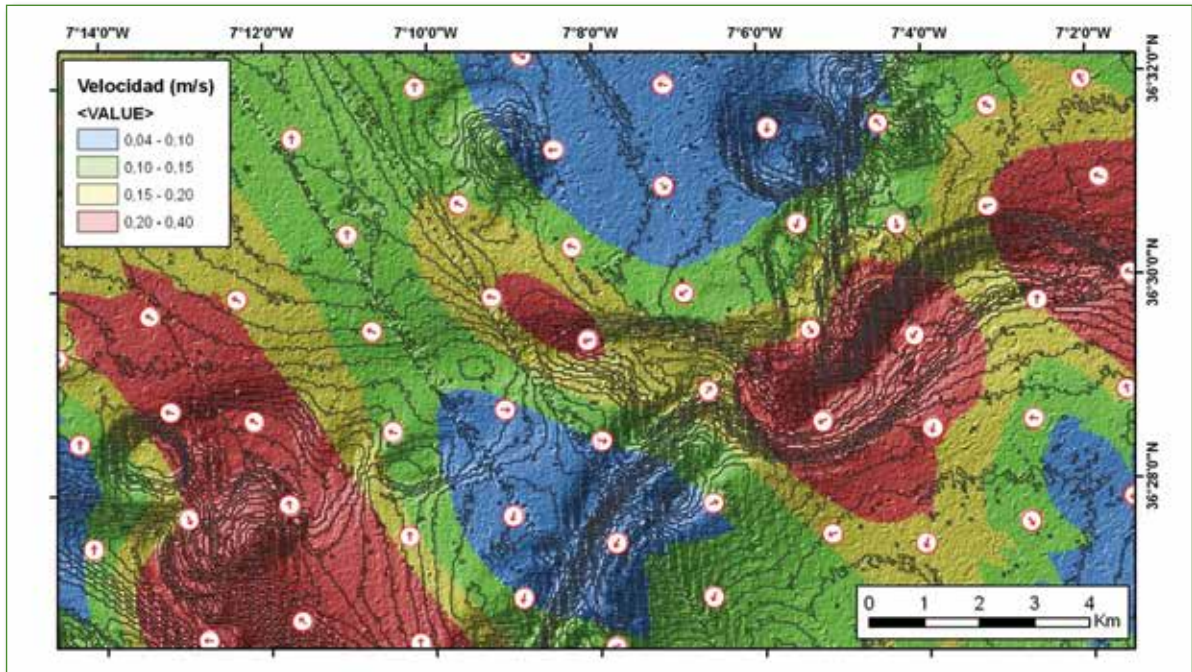
8. Sector septentrional. Se localiza al norte de la zona de las dorsales diapíricas. La influencia del flujo de la MOW se hace presente en los surcos menores que se forman en torno a estos relieves, particularmente perceptible en la Pepa, que se encuentra en la posición más septentrional de este sector.



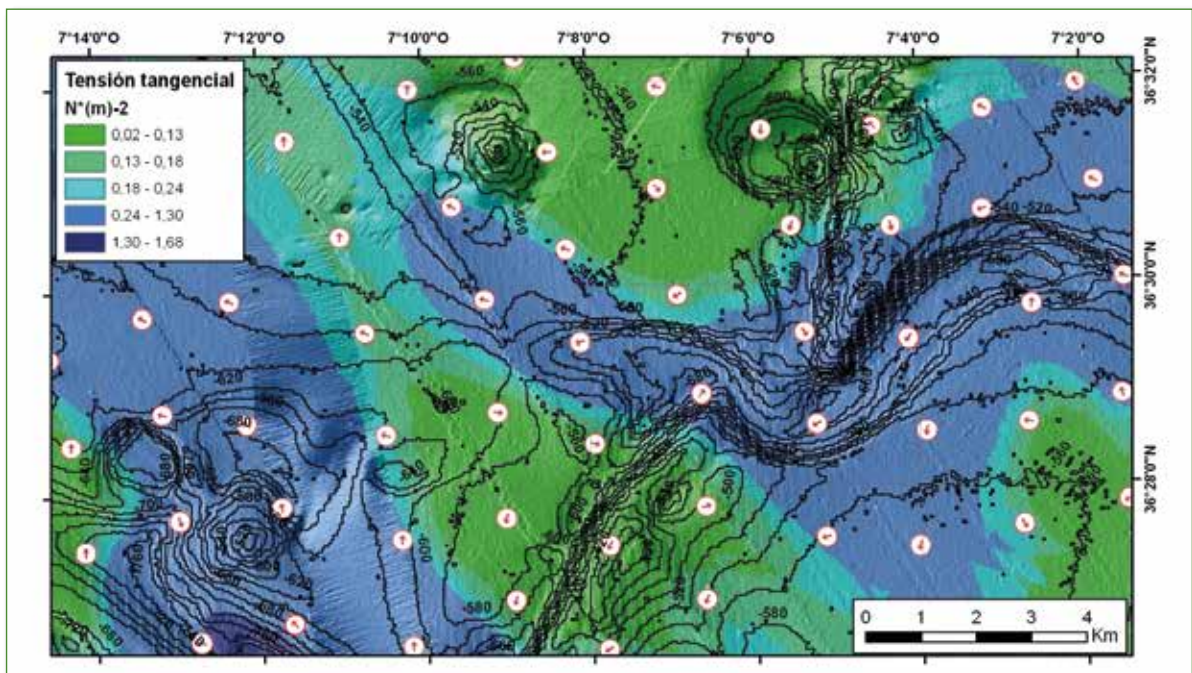
### La corriente mediterránea en el campo somero: erosión *versus* sedimentación

En el contexto del proyecto LIFE+ INDEMARES, se han calculado los valores de velocidad y tensión tangencial sobre el fondo marino del

campo somero (figuras 5.4 y 5.5). El nivel de detalle obtenido en el cálculo de estas variables permite realizar una aproximación a la relación existente entre los sedimentos y la capacidad de transporte que poseen las corrientes de fondo. Es decir, proporciona una aproximación del lugar en el que se produce sedimentación



**Figura 5.4.** Distribución espacial de la velocidad de la corriente sobre el fondo (Fernández-Salas et al., 2012). Obsérvese, a la derecha de la figura, la dirección noreste-suroeste que sigue la dorsal de Guadalquivir e, intersectándola, el profundo meandro que genera el canal Gusano. El efecto que produce el flujo a lo largo de este canal, pasando al sur del volcán de fango Anastasya, se percibe hasta el entorno del volcán de fango Pipoca (situado en el ángulo inferior izquierdo de la figura). Las líneas negras representan las isóbatas en metros y los círculos blancos con flechas en su interior indican la dirección de la corriente. **Fuente:** IEO/GEMAR.



**Figura 5.5.** Distribución espacial de la tensión tangencial sobre el fondo (Fernández-Salas et al., 2012). Las líneas negras representan las isóbatas en metros y los círculos blancos con flechas en su interior indican la dirección de la corriente. **Fuente:** IEO/GEMAR.

y en el que se favorece la erosión, e incluso, predice el tamaño del sedimento que se puede depositar.

Desde esta perspectiva, en las zonas con alta tensión tangencial se movilizarían los sedimentos finos hasta los más gruesos, tal y como se observa en el canal Gusano y en el canal Huelva, así como en sus áreas adyacentes, incluyendo los volcanes Tarsis y Pipoca. En contraposición a esta circunstancia, se situarían aquellas áreas donde únicamente se removilizarían materiales de diámetro menor a las arenas finas: la zona comprendida entre

los dos canales mencionados y la dorsal de Guadalquivir, existiendo otra al este del volcán Anastasya.

En los canales producidos por la acción erosiva de la MOW, el encauzamiento del flujo y el incremento de la pendiente del fondo marino aceleran la velocidad a la que se desplaza esta corriente: el flujo llega a duplicar los valores de la velocidad media de la zona. Tanto los volcanes de fango como la dorsal diapírica de Guadalquivir provocan la formación de vórtices<sup>def</sup>, generándose zonas de menor velocidad a sotavento.

# 6 La irrupción de la vida submarina desencadenada por la actividad microbiana

La actividad microbiana (archaeas y bacterias), asociada a la emisión de gases producida a través de los volcanes de fango, determina la oxidación anaeróbica<sup>def</sup> del metano y la sulfato-reducción, desempeñando un papel determinante, a nivel trófico, en la heterogeneidad y diversidad biológica de las comunidades bentónicas<sup>def</sup>. La consecuencia más inmediata de la actividad microbiana es la formación de nuevas estructuras de naturaleza carbonatada, que constituyen auténticas unidades consolidadas en el subsuelo marino. Estas neoconstrucciones quedan sometidas a la acción erosiva de las corrientes submarinas, de forma que excavan los depósitos fangosos que las cubre, produciéndose así una lenta transformación de los fondos blandos, compuestos por arena y fango, en fondos duros o consolidados. Estos sustratos, que han aflorado<sup>def</sup> a la superficie del fondo marino, son posteriormente colonizados por organismos sésiles (esponjas, corales, gorgonias), incrementando la diversidad de hábitats y la variabilidad faunística asociada.

Los volcanes de fango acogen comunidades bentónicas muy variadas, ligadas directamente a las emisiones de gases en volcanes activos, o bien favorecidas por los sustratos creados en las emisiones anteriores (volcanes latentes), existiendo también comunidades propias de fondos blandos que no tienen vinculación alguna con las emisiones de gases.

En el desarrollo de unas comunidades biológicas u otras influyen diversos factores, como son: el amplio rango de profundidades en el que se presenta el fenómeno de expulsión de fluidos cargados en gases; el fuerte hidrodinamismo y la confluencia de diversas masas de agua en el golfo; la complejidad tipológica del fondo (fangos, arenas, gravas y sustratos rocosos); la variabilidad geomorfológica (volcanes, depresiones, canales, fondos aplacerados, etc.) o los efectos diversos de la tectónica salina (diapirismo, emisiones de gases). Su interacción genera una gran heterogeneidad ambiental, que conlleva la aparición de un mosaico complejo de hábitats vinculados a los focos de emisión de gases que constituyen los volcanes de fango del golfo de Cádiz.

## DEFINICIONES

- **Anaeróbica:** perteneciente o relativo a los organismos que pueden vivir sin oxígeno.
- **Autigénesis:** proceso de formación de una roca sedimentaria compacta a partir de sedimentos sueltos y que ha implicado la formación de minerales en su seno.
- **Autigénica:** roca formada mediante un proceso de autigénesis.
- **Antrópogénica:** de origen humano o derivado de la actividad del hombre.
- **Endemismo:** especie limitada a un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en ninguna otra parte del mundo.
- **Endémica:** propia y exclusiva de determinadas localidades o regiones.
- **Pelágico:** relativo a los organismos que habitualmente viven en la columna de agua.
- **Bentónico:** relativo a los organismos que habitualmente viven en contacto con el fondo del mar.
- **Endofauna:** conjunto de especies bentónicas que viven dentro de los depósitos que constituyen el fondo marino.
- **Epifauna:** conjunto de especies bentónicas que viven sobre la superficie del fondo marino.
- **Afloramiento:** lugar donde asoma a la superficie del terreno un mineral o una masa rocosa que se encuentra en el subsuelo.

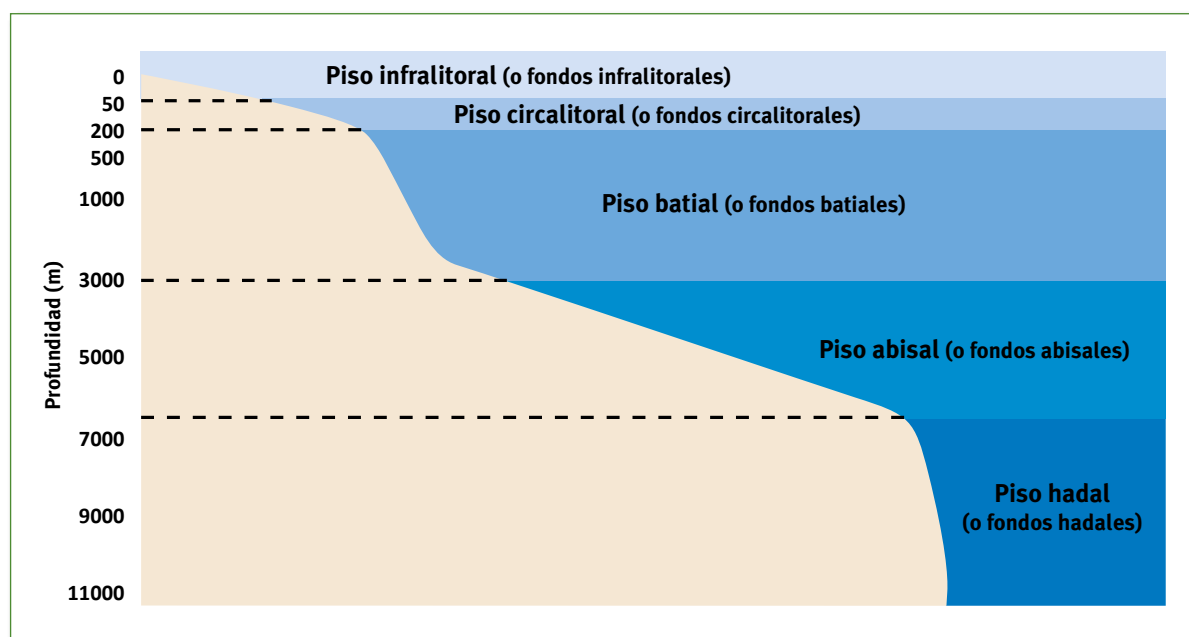


Figura 6.1. Esquema de distribución de los pisos marinos. Fuente: MAGRAMA.

## Hábitats

Es costumbre asentada en la literatura científica y divulgativa que, al describir el fondo marino de los mares y océanos (dominio bentónico<sup>def</sup>), se establezca una subdivisión entre los diversos pisos o estratos de profundidad, que se pueden diferenciar, y que han sido establecidos en razón de los diversos procesos que en ellos suceden. Así, se diferencian los siguientes: infralitoral, circalitoral, batial, abisal y hadal (Figura 6.1).

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la zona de expulsión del LIC se encuentra entre los 300 y los 1.200 metros de profundidad y, por tanto, en atención a la clasificación que se acaba de mencionar, toda su tipología de hábitats se localiza en el piso batial. Este estrato de profundidad corresponde, aproximadamente, a la provincia fisiográfica denominada talud continental, que abarca desde el borde de la plataforma continental hasta el comienzo de las llanuras abisales profundas (entre los 200 y los 3.000 metros de profundidad, aproximadamente). La luz solar ya no penetra hasta alcanzar el fondo marino y, consecuentemente, las especies fotosintéticas prácticamente han desaparecido en estas profundidades.

Los sedimentos arenosos son predominantes en el litoral y en la plataforma interna, haciéndose progresivamente más finos a medida que aumenta la profundidad y la distancia a la

costa. Como rasgo general, se puede apuntar que en los taludes continentales predominan los sedimentos finos y muy finos, característica que es intrínseca a los depósitos contorníticos, como también lo es la compleja geomorfología que se desarrolla sobre ellos. El piso batial del LIC posee una pendiente muy suave y se interpreta como una gran superficie homogénea que puede alcanzar una anchura de unos 100 kilómetros. En esta superficie existe un cuadro ambiental complejo, que es el resultado de su particular variabilidad geomorfológica, sedimentológica, geoquímica e hidrológica. La presencia de volcanes de fango, generados por el fenómeno de la expulsión de fluidos, es uno de los rasgos más característicos del fondo marino en el golfo de Cádiz.

En el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES, se ha constatado una amplia tipología de hábitats profundos vinculados o relacionados con los volcanes de fango. Hábitats tan diversos como los que favorecen una alta biodiversidad (agregaciones de esponjas, arrecifes de corales profundos) o, por el contrario, aquellos en los que la diversidad biológica es más restringida (comunidades extremófilas desarrolladas en sedimentos sobresaturados en metano y sulfídrico).

Es propio destacar, llegado a este punto, la presencia de hábitats de interés declarado en la Directiva Hábitats, como es el caso del hábitat 1180 “Estructuras submarinas

Tipo de fondo	Comunidades
<b>Rocosos</b>	Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas ( <i>Asconema setubalense</i> )
	Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas
	Arrecifes de corales profundos de <i>Lophelia pertusa</i> y/o <i>Madrepora oculata</i>
	Roca batial con <i>Callogorgia verticillata</i>
	Roca batial colmatada de sedimentos con <i>Bebryce mollis</i>
	Roca batial con <i>Acanthogorgia hirsuta</i>
	Roca batial con corales negros ( <i>Leiopathes</i> y <i>Antipathes</i> )
<b>Sedimentarios</b>	Fondos detríticos batiales con campos de <i>Leptometra phalangium</i>
	Fangos batiales con <i>Thenia muricata</i>
	Fangos batiales con <i>Pheronema carpenteri</i>
	Fangos batiales con pennatuláceos
	Fangos blandos batiales con <i>Funiculina quadrangularis</i>
	Fangos batiales con dominancia de <i>Kophobelemnon stelliferum</i>
	Fondos sedimentarios batiales no fangosos con cidarioideos ( <i>Cidaris cidaris</i> )
	Fangos batiales compactos con <i>Isidella elongata</i>
	Fangos batiales con Flabellum
	Fangos batiales con Radicipes
	Arenas y arenas fangosas dominadas por hormathiidae ( <i>Actinauge richardii</i> )
	Pockmarks
	Estructuras producidas por escape de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético
	Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas
	Estructuras producidas por escape de gases (Volcanes de Fango)
Estructuras producidas por escape de gases (Depresiones de colapso)	

**Tabla 6.1.** Hábitats observados en golfo de Cádiz. **Fuente:** Informe Final LIFE+INDEMARES Volcanes de fango del golfo de Cádiz.

causadas por emisiones de gases”, o el hábitat 1170 “Arrecifes”. En concreto, la presencia de arrecifes de corales de aguas frías o agregaciones de esponjas en la zona es posible gracias a las estructuras carbonatas autigénicas<sup>def</sup>, sustrato de neoformación idóneo

para que se asienten este tipo de comunidades, puesto que los fondos adyacentes que rodean los volcanes de fango son eminentemente sedimentarios y sobre ellos no podrían fijarse las colonias. Los organismos constructores de hábitats aumentan la complejidad del

### Hábitats relacionados con estructuras producidas por escape de gases

Resulta complicado catalogar solamente en función del tipo de fondo los hábitats originados por las estructuras producidas por escape de gases. Como ya se ha explicado, los fenómenos de expulsión de fluidos cargados en gas producen cambios sustanciales en la superficie de los depósitos y en el interior de las series sedimentarias superiores. Esto modifica notablemente los relieves preexistentes y genera nuevas geoformas, de naturaleza carbonatada. Dentro de las áreas de expulsión de fluidos pueden darse 4 tipos de sustratos, que configuran diferentes hábitats:

- (1) Fondos duros estables compuestos por grandes costras y enlosados, así como por chimeneas de carbonatos, que generalmente no están cubiertos ni por fango ni por arena. Estos tipos de fondos normalmente se encuentran en los volcanes erosionados, cerca de la cumbre o en el lateral del volcán. Se trata de un sustrato apropiado para organismos sésiles coloniales, por ejemplo arrecifes de corales de aguas frías, corales negros, grandes esponjas hexactinélidas o agregaciones de gorgonias.
- (2) Fondos mixtos compuestos por chimeneas y costras dispersas, que se producen en una matriz de sedimentos fangosos a fango-arenosos. Se dan generalmente dentro o en la base de las laderas de volcanes de fango (donde se depositan algunas chimeneas) o en lentejones dispersos entre los sustratos duros estables. En este tipo de hábitats pueden encontrarse comunidades mixtas de fondos duros y blandos.
- (3) Matriz de fondos blandos compuestos principalmente por arenas y fangos contorníticos, que se producen entre los volcanes y en los depósitos de las depresiones o pockmarks. Estos fondos son los de mayor extensión en el golfo de Cádiz, mostrando diferentes granulometrías (arenas gruesas, arenas finas y fangos).
- (4) Fondos blandos de sedimento fangoso con alta concentración de gas: es el hábitat necesario para el desarrollo de las comunidades quimiosintéticas (principalmente metanogénicas). Este tipo de hábitat es muy escaso en aguas españolas y sólo ha sido detectado, con su comunidad quimiosintética asociada, en la cima del volcán de fango Anastasya, a 457 metros de profundidad. Ejemplos: tapetes de bacterias filamentosas, bacterias endosimbiontes, poliquetos frenulados, bivalvos o decápodos talasínidos.

fondo marino, favoreciendo la diversificación de microhábitats y la aparición de diferentes especies que aprovechan su presencia para buscar en el lugar su nicho ecológico.

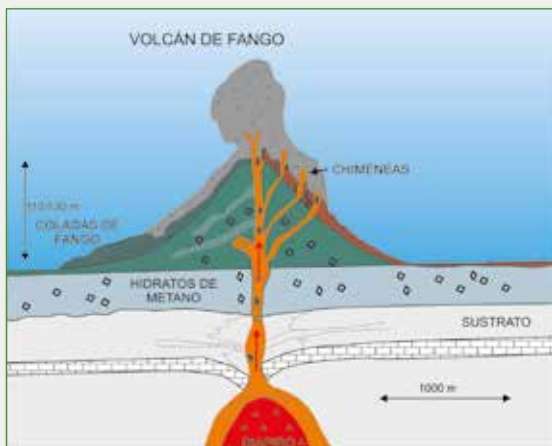
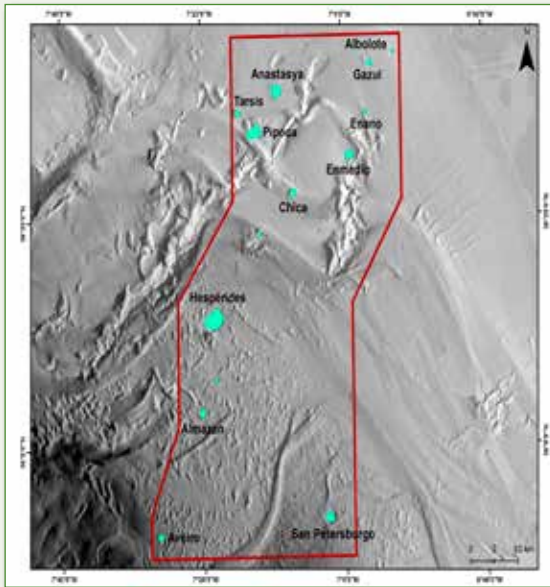
A apoyados en los análisis realizados sobre los datos científicos obtenidos en los muestreos del fondo marino, sobre los que se ha procedido a caracterizar las comunidades bentónicas y elaborar los listados de hábitats basados en la Lista Patrón de los hábitats marinos presentes en España (en adelante LPRE o Lista Patrón), se puede confirmar la presencia de diferentes tipos de hábitats en el LIC "Volcanes de fango del Golfo de Cádiz":

Los hábitats relacionados con estructuras producidas por escape de gases:

1. Estructuras producidas por escape de gases - Volcanes de Fango.
2. Estructuras producidas por escape de gases - Depresiones de colapso.
3. Pockmarks.
4. Estructuras producidas por escape de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético.
5. Estructuras producidas por escape de gases con especies quimiosintéticas.

Directiva Hábitats: 1180  
Volcanes de Fango

Correspondencias  
LPRE: 040201 - Estructuras producidas por escape de gases (Volcanes de Fango)  
EUNIS: A6.911  
OSPAR: Sin correspondencia



#### Otras especies acompañantes

Los volcanes de fango acogen comunidades bentónicas muy variadas. Pueden estar ligadas directamente a las emisiones de gases en volcanes activos, o bien favorecidas por los sustratos creados en las emisiones anteriores (volcanes latentes). También existen comunidades propias de fondos blandos que no tienen vinculación alguna con las emisiones de gases. La presencia de algunas comunidades (arrecifes de corales de aguas frías, agregaciones de esponjas, etc.) en el LIC es posible gracias a las estructuras carbonatas autigénicas, sustrato de neoformación idóneo para su asentamiento, puesto que los fondos adyacentes que rodean los volcanes de fango son eminentemente sedimentarios y sobre ellos no podrían fijar sus colonias. Los organismos constructores de hábitats aumentan la complejidad estructural en el fondo marino, favoreciendo la diversificación de microhábitats y la aparición de diferentes especies que aprovechan su presencia para buscar su nicho ecológico.

#### DESCRIPCIÓN GENERAL

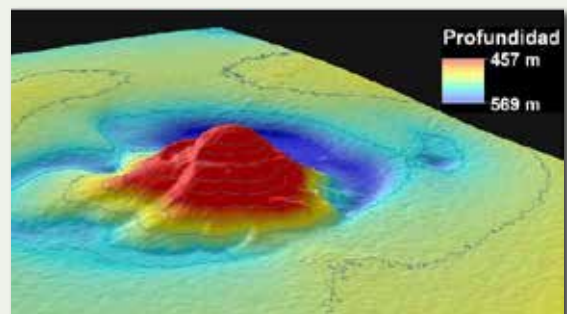
Los volcanes de fango son edificios cónicos formados por la migración vertical de fango y fluidos sobresaturados en gases hidrocarburos (principalmente metano), que son expulsados mediante emisiones, más o menos continuas, a muy alta presión y baja temperatura. La concentración de gases entre los sedimentos subsuperficiales facilita la actividad bacteriana de algunos grupos primitivos de bacterias (arqueas y bacterias), lo que provoca la formación de carbonatos autigénicos de diversas morfologías (chimeneas, costras y enlosados) y que pueden llegar a aflorar o bien ser desenterradas por el efecto de las corrientes marinas profundas. Estas nuevas zonas de sustrato rocoso en la superficie sirven de soporte para especies sésiles formadoras de hábitats, como los corales de aguas frías. La tipología morfológica de los volcanes de fango está relacionada con las unidades diapíricas que forman el sustrato sobre el que descansan. Esta unidad es la que genera la mayor cantidad de gas expulsado por el fondo marino. En el campo somero de expulsión se han localizado 8 volcanes de fango (Anastasya, Pipoca, Tarsis, Gazul, Chica, Albolote, Enmedio y Enano), mientras que son 4 los que se emplazan en el campo profundo (Hespérides, Almazán, Aveiro y San Petersburgo).



Fondos mixtos con arena gruesa y carbonatos autigénicos (chimeneas y enlosados) en Hespérides.

#### Especies características

Arqueobacterias y bacterias sulfato-reductoras. Invertebrados con quimiosimbiontes, sobre todo moluscos bivalvos (*Solemya*, *Lucinoma*, *Acharax*), poliquetos frenulados (*Siboglinum*) y decápodos talasínidos (*Calliax*). Carbonatos autigénicos.

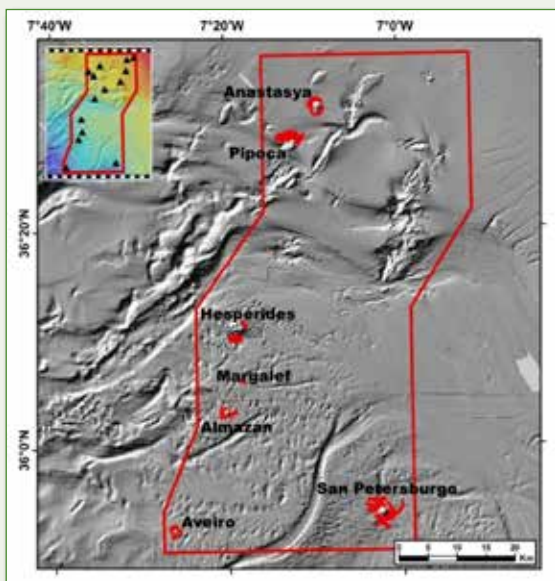


Simulación 3D de la batimetría multihaz del volcán de fango Anastasya.

Directiva Hábitats: 1180

**Depresiones de colapso producidas por escape de fluidos (gases)**

Correspondencias  
 LPRE: 040201 - Estructuras producidas por escape de gases (Depresiones de colapso)  
 EUNIS: A6.94  
 OSPAR: Sin correspondencia



**DESCRIPCIÓN GENERAL**

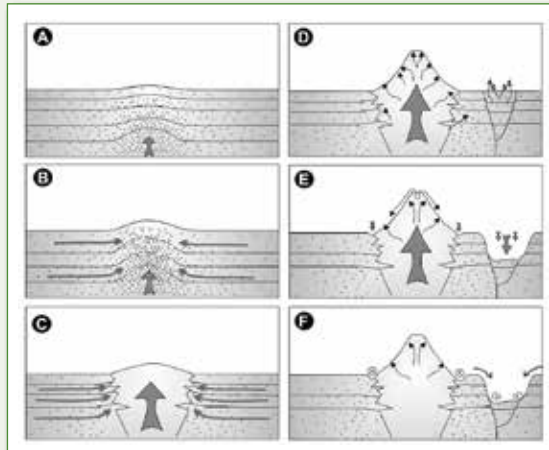
Se localizan, por lo general, en las inmediaciones de los principales volcanes de fango. Debido a la fluidificación de los depósitos sedimentarios superficiales y a la expulsión de los fluidos intersticiales (migran lateralmente en dirección al volcán cercano), el fondo marino colapsa (se derrumba) verticalmente. La diversidad geomorfológica de las depresiones de colapso es alta, existiendo desde geometrías subcirculares (ej.: Pipoca) hasta geometrías casi rectangulares (ej.: Hespérides). Las paredes de las depresiones son escarpadas y el fondo es aplacerado. El desnivel existente entre la superficie batimétrica de referencia hasta el fondo más profundo de la depresión puede ser de decenas de metros. Suelen presentar en su interior abundantes estructuras carbonatadas que han sido generadas in situ, o bien haber sido exhumadas en las vertientes del volcán y haberse deslizado por ellas. Su importancia reside en el hecho de que pueden presentar comunidades bentónicas relacionadas con la expulsión de fluidos cargados en gas. En la mayoría de ellas, no se han encontrado comunidades bentónicas vivas relacionadas con expulsión de fluidos, solamente tanatocenosis.

**Especies características**

Restos de especies quimiosintéticas (*Lucinoma*, *Acharax*, *Isorropodon*, *Bathymodiolus*). Carbonatos autigénicos.

**Otras especies**

La comunidad asociada se caracteriza por la presencia de diferentes especies, dependiendo del tipo de sustrato, desde sésiles (poríferos, pennatuláceos, coral bambú, corales solitarios del género *Flabellum*) hasta móviles (diferentes especies de equinodermos, decápodos, peces, etc.) y, en algunos casos, con abundantes restos fósiles o subfósiles de corales (*Madrepora oculata*, *Dendrophyllia alternata*, *Lophelia pertusa*) y moluscos ligados a emisiones de gases (fundamentalmente *Lucinoma asapheus* y *Acharax gadirae*). Acompañan a estos grupos faunísticos numerosos fragmentos de chimeneas carbonatadas de muy diversos tamaños, así como carbonatos autigénicos amorfos procedentes de la erosión de enlosados y costras.



Modelo de formación de las depresiones de colapso.



Imagen del fondo marino cubierto con carbonatos autigénicos y restos de corales (*Dendrophyllia alternata*).

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).



Directiva Hábitats: 1180

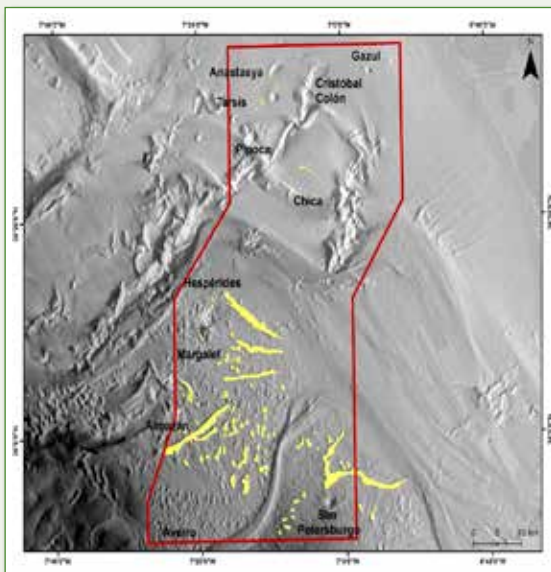
Pockmarks

Correspondencias

LPRE: 04020101 - Pockmarks

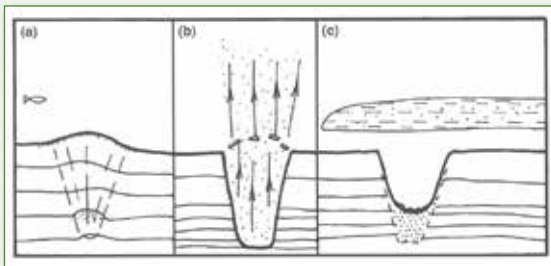
EUNIS: A6.94

OSPAR: Sin correspondencia



DESCRIPCIÓN GENERAL

Los pockmarks son estructuras formadas en la superficie del fondo marino que sólo afectan a las capas sedimentarias superficiales y que se presentan como pequeñas depresiones de geometría bien definidas. Están provocadas por la emisión súbita y puntual de fluidos, que ascienden a través de las fisuras existentes en el interior de los depósitos. Este fenómeno se origina en áreas dominadas por la tectónica salina, en la que los fluidos pueden ser de naturaleza hipersalina e hidrotermal. En el proceso de ascenso y expulsión en el fondo marino incorporan cantidades variables de gases y otros compuestos acumulados en los sedimentos. El fondo del pockmark puede estar ocupado por carbonatos autigénicos enriquecidos en sulfatos, producto de la precipitación geoquímica de los flujos hipersalinos ascendentes. Los pockmarks son muy comunes en todo el LIC pero es en el campo profundo, debido a la mayor presencia de hidratos de gas y mayor emisión de fluidos, donde se encuentra la mayor abundancia de pockmarks. Su importancia reside en la posibilidad de que pueden presentar comunidades bentónicas relacionadas con la expulsión de fluidos cargados en gas y así facilitar la precipitación de carbonatos autigénicos con comunidades quimiosintéticas. Son áreas en las que habitan comunidades bentónicas compuestas por hidrozoos, poríferos, poliquetos, moluscos o crustáceos que suelen colonizar los fondos que circundan los pockmarks, cuando el depósito es de naturaleza fangosa.



Modelo conceptual de formación de pockmarks.

Especies características: *Siboglinum spp.*

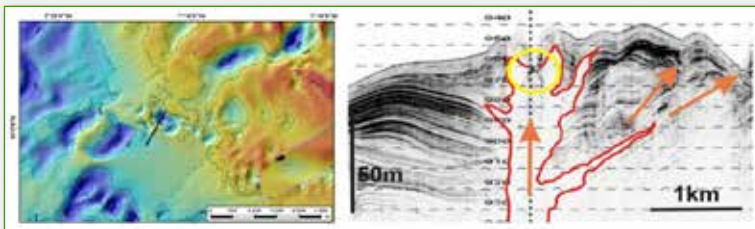
Otras especies

Diferentes especies de invertebrados, fundamentalmente de poliquetos, bivalvos y decápodos. Especies colonizadoras de las superficies duras de los carbonatos autigénicos (poríferos, cnidarios, etc.). Son también abundantes los restos de especies quimiosintéticas o de corales de aguas frías.



*Siboglinum sp.*

Izquierda: Poliquetos frenulados del género *Siboglinum* en el interior de la brecha fangosa. Derecha: Detalle de poliquetos siboglinidos.



Volcán de fango Margalef (entre 875 y 900 metros de profundidad): (Izquierda) Detalle de la cartografía del campo profundo de volcanes de fango, depresiones y colapsos. (Derecha) Sección sísmica en la que se señala, en posición central, el flujo principal ascendente y la caldera de colapso a modo de un gigante pockmark. El ascenso de los flujos escoge diversas vías de escape lateral, como las dos que se señalan hacia la derecha y que forman pockmarks.



Los fondos marinos cubiertos con carbonatos autigénicos, a veces son colonizados por especies de *cnidarios* y/o *poríferos*.

Fuente: EO/GEMAR (figuras), Hovland & Judd, 2007 (modelo) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: 1180 y 1170

**Estructuras producidas por escape de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético**

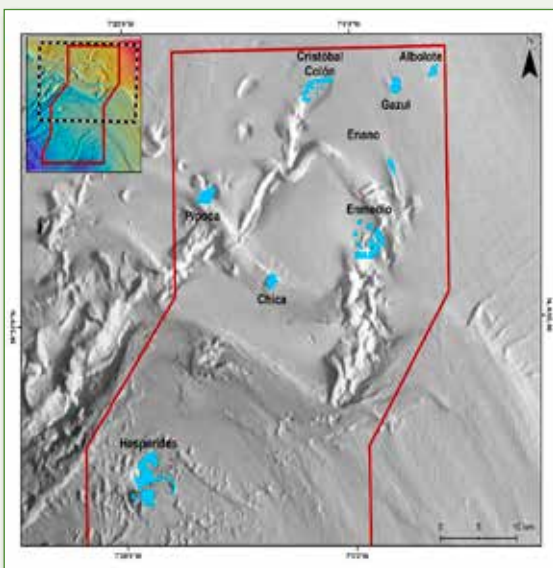
Correspondencias

LPRE: : 04020102 - Estructuras producidas por escape de

gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético

EUNIS: A6.911

OSPAR: Sin correspondencia



**Especies características**

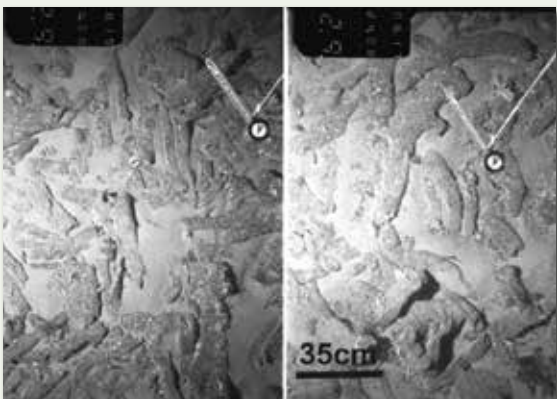
Arqueobacterias y bacterias sulfato-reductoras, carbonatos autigénicos (chimeneas, enlosados, costras).

**Otras especies**

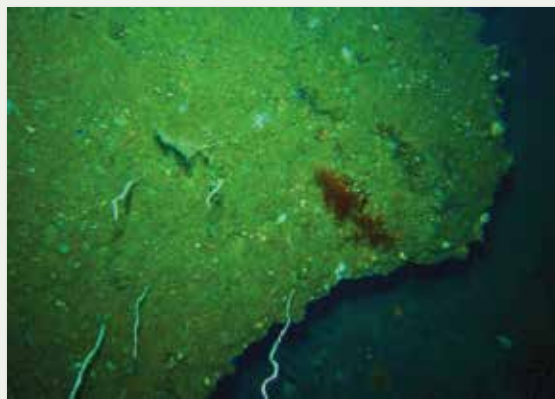
La comunidad asociada se caracteriza por la presencia de tapetes de bacterias filamentosas (*Beggiatoa*, *Thioploca*, *Thiothrix*). Los carbonatos autigénicos (chimeneas, enlosados, costras) son colonizados por diferentes especies de invertebrados de hábitos quimiosintéticos (fundamentalmente de poliquetos frenulados) o heterotróficos, incluyendo los corales de aguas frías (*Madrepora oculata*), los antipatarios (*Leiopathes glaberrima*), esponjas de gran porte (*Asconema setubalense*) o simplemente pequeños organismos sésiles (Braquiópodos de los géneros *Novocrania* o *Terebratula*).

**DESCRIPCIÓN GENERAL**

Los sustratos carbonatados son superficies consolidadas formadas por la precipitación de carbonatos en un ambiente gobernado por microorganismos que, en un complejo proceso geomicrobiológico, metabolizan el metano. Esta actividad genera, como productos derivados, importantes cantidades de sulfuro de hidrógeno y bicarbonato. El sulfuro de hidrógeno también es el sustento principal de algunas comunidades de invertebrados (moluscos bivalvos, poliquetos frenulados, decápodos) con bacterias quimiosimbiontes, que habitan alrededor de los lugares de emisión. El bicarbonato es fundamental para facilitar la precipitación de los carbonatos autigénicos. La singularidad de estas bacterias consiste en que son de los pocos organismos existentes capaces de atrapar el metano y facilitar su precipitación en forma de compuestos minerales, e impedir así su emisión a la columna de agua. Los sustratos carbonatados adoptan muy variadas morfologías (planares, tabulares y tubulares). Pueden ser continuos (superficies ocupadas por estructuras de grandes dimensiones) o discontinuos y heterogéneos (superficies ocupadas por enlosados, chimeneas y fragmentos de roca carbonatada autigénica), que son los más frecuentes. El fenómeno de la emisión de fluidos reviste un carácter extensivo en el golfo de Cádiz, por lo que puede detectarse en cualquiera de los focos de emisión activos o latentes. Los lugares en los que los sustratos carbonatados están mejor representados son aquellos que están sometidos a una mayor erosión por efecto de las corrientes de fondo, de tal manera que la transformación de fondos es más activa por acción de la exhumación de unidades infrayacentes. Destacan las zonas de Enmedio, Enano y Chica.



Sustratos compuestos mayoritariamente por chimeneas fracturadas, que se han formado en el interior de los sedimentos de las zonas de emisión de fluidos cargados en metano, y posteriormente exhumadas.



Detalle de un fragmento de enlosado colonizado por cnidarios (*Callogorgia verticillata*, *Viminella flagellum*), equinodermos y poríferos.

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: 1180

**Estructuras producidas por escape de gases con especies quimiosintéticas**

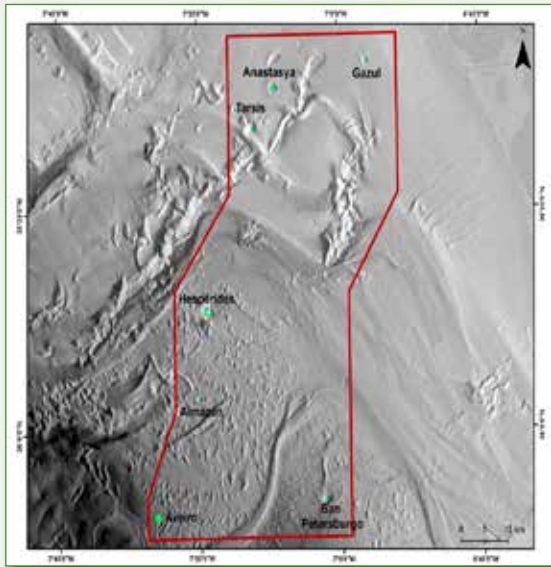
Correspondencias

LPRE: 04020103 - Estructuras producidas por escape de gases

con especies quimiosintéticas

EUNIS: A6.911

OSPAR: Sin correspondencia



**DESCRIPCIÓN GENERAL**

Este tipo de estructuras se forman como consecuencia del escape de fluidos hidrocarburos (principalmente metano) procedentes del subsuelo marino, movilizándolo fango y brecha fangosa (pequeños fragmentos de rocas sedimentarias) en su ascenso hacia la superficie. La presencia de sedimentos anóxicos (sin oxígeno) cargados en gas puede localizarse en diferentes zonas del volcán, pero es especialmente frecuente en la cima. Estos sedimentos son el sustrato idóneo para el asentamiento de poblaciones de organismos con un metabolismo quimiosintético, fundamentalmente bacterias involucradas en la captación de energía a partir de la oxidación de metano y sulfhídrico. Algunas de estas bacterias están implicadas en la formación de carbonatos autigénicos (chimeneas, costras y enlosados) mediante la oxidación anaeróbica del metano y la precipitación de carbonatos. También aparecen bacterias en forma de tapetes filamentosos y otras como endosimbiontes de invertebrados (poliquetos frenulados, moluscos bivalvos y decápodos talasínidos). Este tipo de hábitat se encuentra en la mayoría de los volcanes de fango, pero fundamentalmente en Anastasya, Hespérides, Almazán, Aveiro y San Petersburgo. Pueden coexistir con otras especies epifaunales de fondos blandos batiales comunes, como pennatuláceos.

**Especies características**

Bacterias (*Beggiatoa*, *Thioploca*, *Thiotrix*), *Siboglinum* sp., *Lucinoma asapheus*, *Solemya elarraichensis*, *Acharax gadirae*, *Thyasira* spp., *Calliax* sp., *Isorropodon* cf. *megadesmus*, *Bathymodiolus mauritanicus*, *Bobmarleya gadensis*.

**Otras especies acompañantes**

Pennatuláceos (*Kophobelemnon stelliferum*, *Funiculina quadrangularis*, *Virgularia* sp.); Bivalvos (*Abra longicallus*, *Kelliella abyssicola*); Poliquetos (*Maldanidae*, *Capitellidae*), etc.

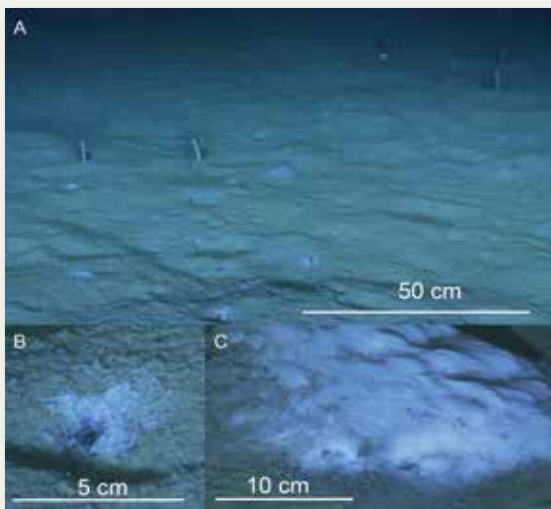


*Solemya elarraichensis*

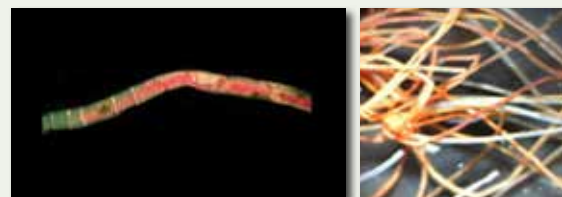


*Calliax* sp.

*Lucinoma asapheus*



Imágenes submarinas obtenidas en un transecto de ROV en la cima del volcán Anastasya, en el que se observa un fondo con mucha bioturbación, diferentes tipos de tapetes de bacterias filamentosas y la presencia de pennatuláceos a baja densidad (*Kophobelemnon stelliferum*).



*Siboglinum* sp.

Invertebrados asociados a fangos anóxicos

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

## Hábitats sobre piso batial rocoso y otros sustratos duros

La mayor parte de los sustratos duros de la zona provienen de los numerosos afloramientos<sup>def</sup> de carbonatos autigénicos. En la zona correspondiente al LIC, las áreas con sustratos duros suelen estar dominadas por un alto hidrodinamismo, responsable de que se exhumen los sustratos duros ocultos por el sedimento, lo que favorece el asentamiento de especies coloniales suspensívoras. Las corrientes dominantes, fuertemente energéticas, participan en el ciclo ecológico de estas especies sésiles, ya que pueden ofrecer una mayor disponibilidad de alimento. Los afloramientos diapíricos también pueden ofrecer sustratos estables que pueden ser colonizados por especies de lento crecimiento (ej.: corales negros), o de rápido crecimiento (ej.: hidrozoos). Algunas veces, compartiendo el mismo espacio y compitiendo por los sustratos duros, pueden coexistir varias comunidades (gorgonias, corales y/o esponjas).

Un caso especial es el catalogado como “hábitat singular batial” en la Lista Patrón (LPRE), el cual ha sido localizado únicamente en la ladera norte del volcán de fango Gazul (400 metros

de profundidad) y que es denominado como “Arrecifes de corales profundos”. Se trata de asentamientos de colonias de corales de aguas frías, esencialmente de las especies *Lophelia pertusa* y *Madrepora oculata*. Su hallazgo en este volcán puede deberse a que pertenece al grupo de volcanes de fango en estado latente. Además, se trata de una zona donde existe un alto hidrodinamismo y en la cual la actividad pesquera de arrastre de fondo es mínima, lo que favorece el desarrollo de estos hábitats sensibles a las artes pesqueras.

Los hábitats catalogados sobre sustratos duros han sido:

1. Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata*.
2. Agregaciones de Gorgonias: Roca batial colmatada de sedimentos con *Bebryce mollis*, Roca batial con *Callogorgia verticillata* y *Acanthogorgia hirsuta*.
3. Roca batial con corales negros (*Leiopathes*, *Antipathes*).
4. Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema setubalense*) y Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas.



Fangos batiales con *Pheronema carpenteri*. Foto: IEO - GEMAR.

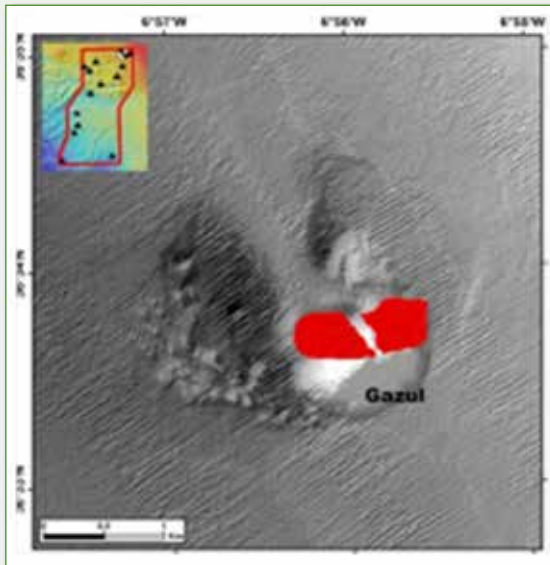
Directiva Hábitats: 1170 - Arrecifes

Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y *Madrepora oculata*

Correspondencias

LPRE: 04030301 - Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata*

EUNIS: A6.611

OSPAR: *Lophelia pertusa* reefs, Coral Gardens

## DESCRIPCIÓN GENERAL

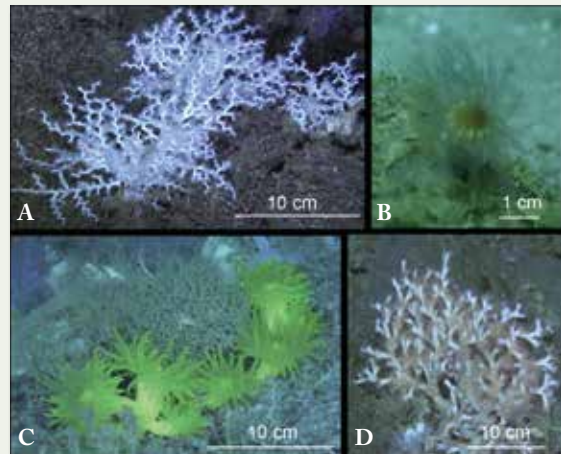
Este hábitat dominado por las escleractinias *Madrepora oculata* (Fig. A) y *Lophelia pertusa* (Fig. D) ha sido localizado en el volcán de fango Gazul, aproximadamente a una profundidad de 400 metros. Están acompañadas por otras escleractinias solitarias de menor tamaño. El hábitat presenta un buen estado de conservación, observándose que el tamaño de alguna de sus colonias alcanza hasta 100 centímetros de altura, por lo que se estima que la edad de algunos de sus ejemplares ronde los 200 años. El asentamiento y desarrollo de estos organismos suspensívoros se ven favorecidos en los volcanes de fango por el afloramiento de sustratos duros autigénicos (chimeneas, costras y enlosados), además de por un alto hidrodinamismo y aguas ricas en nutrientes. Debido a la estructura intrincada que adquieren, ofrecen refugio y/o alimento a multitud de especies, tanto de vertebrados como de invertebrados, aumentando así la complejidad del hábitat. Este hecho determina que el hábitat 1170 de arrecifes de corales de aguas profundas sea considerado un punto caliente de biodiversidad.

## Otras especies

Escleractinias *Caryophyllia smithii* (Fig. B), *Dendrophyllia cornigera* (Fig. C) *Flabellum chunii* y *Eguchipsammia gaditana*, poliquetos *Eunice norvegica*, *Lumbrineris flabellicola*, cnidarios alcionáceos *Acanthogorgia hirsuta*, *Viminella flagellum*, *Placogorgia massiliensis*, antipatharios *Leiopathes glaberrima*, *Anthipathella cf. subpinnata* (Fig. E), hidrozooos *Polyplumaria flabellata* (Fig. E), *Diphasia margareta* y *Acryptolaria* spp., Brachiopoda *Novocrania anomala* y *Gryphus vitreus*, Porifera *Haliclona* (*Soestella*) *mucosa*, *Asconema setubalense*, *Phakellia ventilabrum* y *Petrosia crassa*, crustáceos decápodos *Munida intermedia* (Fig. J), *Inachus leptochirus* y *Monodaeus couchii* (Fig. F), equinodermos: crinoideos *Leptometra phalangium*, ofiuroides *Ophiobrix fragilis*, equinoideos *Cidaris cidaris* y *Gracilechinus acutus*, asteroideos *Chaetaster longipes* y *Hacelia superba*, los moluscos *Lima marioni* (Fig. I), *Asperarca nodulosa*, *Astarte sulcata*, *Danilia tinei* (Fig. H), *Epitonium celesti* (Fig. G), *Epitonium algerianum*, *Emarginula* spp., y la ictiofauna *Gadella maraldi*, *Galeus melastomus*, *Phycis blennoides*, *Micromesistius poutassou*, *Helicolenus dactylopterus* (Fig. K), *Lepidopus caudatus*.

## Especies características:

*Lophelia pertusa*  
*Madrepora oculata*



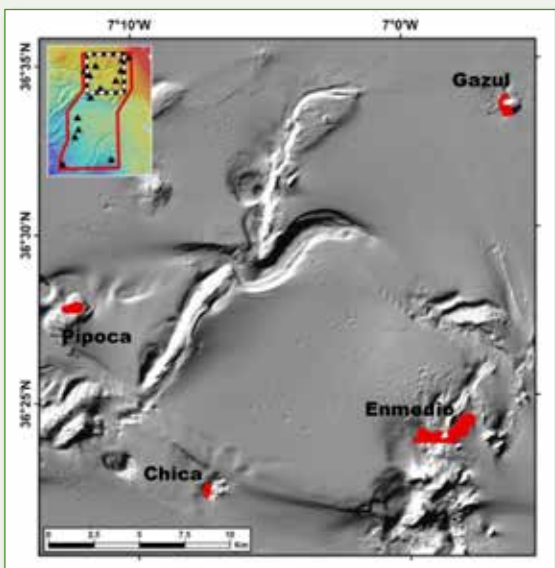
Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: 1170 -Arrecifes

Agregaciones de Gorgonias: Roca batial colmatada de sedimentos con *Bebryce mollis*, Roca batial con *Callogorgia verticillata* y *Acanthogorgia hirsuta*

Correspondencias

LPRE: 04010201 -Roca batial colmatada de sedimentos con *Bebryce mollis*  
 04010104 - Roca limpia batial con *Callogorgia verticillata*  
 04010105 - Roca batial con *Acanthogorgia hirsuta*  
 EUNIS: A6.11 Deep-sea bedrock  
 OSPAR: Coral gardens



DESCRIPCIÓN GENERAL

Tanto *Bebryce mollis* como *Callogorgia verticillata* como *Acanthogorgia hirsuta* son octocorales que muestran una distribución geográfica y batimétrica no tan amplia como otras especies de corales de aguas frías. Estas especies suelen conformar diferentes tipos de hábitat 1170 (Arrecifes), ya que colonizan sustratos duros y pueden constituir un hábitat singular formado por una gran variedad de especies. Las agregaciones de gorgonias, gracias al importante porte que pueden adquirir muchas de sus especies como la *C. verticillata*, pueden presentar gran cantidad de especies asociadas, tanto vertebrados como invertebrados, que utilizan su estructura como refugio, zonas de cría o reproducción y/o alimento, albergando comunidades con una alta diversidad específica.

En el golfo de Cádiz, debido a la presencia de fuertes corrientes de fondo, existen numerosas zonas con afloramiento rocoso de carbonatos autígenicos, tales como chimeneas, costras o enlosados, que propician el asentamiento de este tipo de comunidades sésiles y de modo de vida suspensívoro.

Especies características

- Bebryce mollis*
- Callogorgia verticillata*
- Acanthogorgia hirsuta*

Otras especies

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| <i>Swiftia pallida</i>           | <i>Etmopterus spinax</i>     |
| <i>Leiopathes glaberrima</i>     | <i>Leptometra phalangium</i> |
| <i>Antipathella subpinnata</i>   | <i>Cidaris cidaris</i>       |
| <i>Polyplumaria flabellata</i>   | <i>Gracilechinus acutus</i>  |
| <i>Diphasia margareta</i>        | <i>Munida intermedia</i>     |
| <i>Asconema setubalense</i>      | <i>Bathynectes maravigna</i> |
| <i>Haliclona mucosa</i>          | <i>Monodaeus couchii</i>     |
| <i>Phakellia ventilabrum</i>     | <i>Novocrania anomala</i>    |
| <i>Micromesistius poutassou</i>  | <i>Gryphus vitreus</i>       |
| <i>Helicolenus dactylopterus</i> | <i>Anamenia gorgonophila</i> |
| <i>Nezumia aequalis</i>          | <i>Simnia spelta</i>         |



Gasterópodo ovúlido *Simnia spelta* sobre la gorgonia *Callogorgia verticillata*.



*Acanthogorgia hirsuta*



*Callogorgia verticillata*



*Bebryce mollis*



*Solenogastro Anamenia gorgonophila* sobre la gorgonia *Acanthogorgia hirsuta*.



Poríferos acompañantes de hábitats conformados por gorgonias.

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: 1170 -Arrecifes

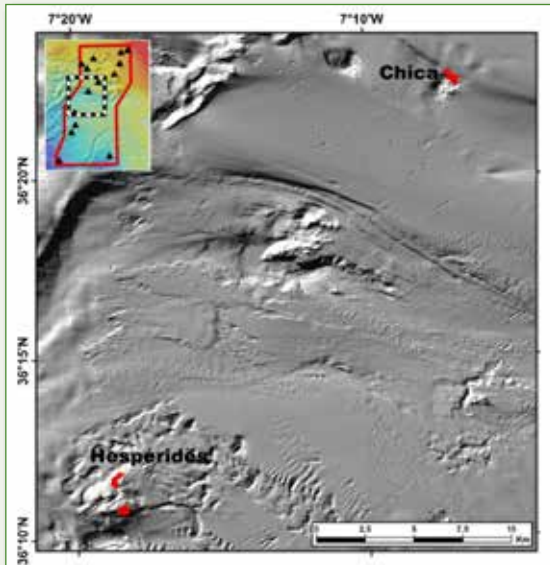
**Roca batial con corales negros (*Leiopathes glaberrima* y *Antipathes dichotoma*)**

Correspondencias

LPRE: 04010115 - Roca batial con corales negros (*Leiopathes glaberrima* y *Antipathes dichotoma*)

EUNIS: A6.11

OSPAR: Coral gardens

**Especies características:**

*Leiopathes glaberrima*  
*Antipathes dichotoma*

**Otras especies**

Escleractinias (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*); Cnidarios (*Callogorgia verticillata*, *Acanthogorgia hirsuta*, *Swiftia pallida*, *Beryce mollis*); Poríferos (*Petrosia crassa*, *Haliclona mucosa*, *Phakellia ventilabrum*); Antozoos (*Dendrophyllia cornigera*, *Caryophyllia (Caryophyllia) smithii*, *Flabellum chunii*); Crustáceos (*Plesionika antgai*, *Plesionika martia*, *Aristaeomorpha foliacea*, *Solenocera membranacea*, *Pasiphaea*, *Meganyctiphanes norvegica*, *Monodaeus couchii*, *Geryon longipes*, *Bathynectes maravigna*); Equinoideos (*Cidaris cidaris*, *Gracilechinus acutus*); Moluscos Bivalvos (*Lima marioni*, *Lima marioni*, *Bathyarca philippiana*, *Pseudamussium peslutrae*); Gasterópodos (*Epitonium celesti*, *Epitonium algerianum*, *Simnia spelta*, *Gibberula turgidula*); Condrictios (*Centrophorus granulosus*, *Dalatis licha*, *Etmopterus spinax*, *Galeorhinus galeus*, *Galeus melastomus*, *Chimaera monstrosa*); Otros Peces (*Helicolenus dactylopterus*, *Phycis blennoides*, *Nezumia aequalis*, *Coelorinchus caelorhincus* o *Polymetme corythaeola*).



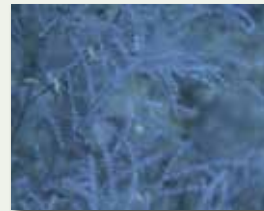
Corales de aguas frías en el volcán Gazul compartiendo sustrato con especies de corales negros (*Anthipatella subpinnata*).

**DESCRIPCIÓN GENERAL**

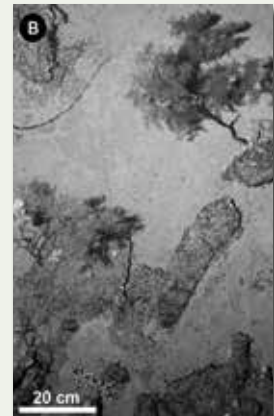
En el golfo de Cádiz, se ha constatado la presencia de los antipatarios (blackcorals) *Antipathella subpinnata*, *Stichopathes setacea*, *Stichopathes gravieri*, *Parantipathes cf. larix* y *Leiopathes glaberrima*, siendo esta última especie la única que puede llegar a conformar hábitats dominados por corales negros. En el LIC, los hábitats constituidos principalmente por comunidades de corales negros se encuentran a una profundidad de entre 600 y 800 metros, formando colonias de alto porte (hasta 70 centímetros) de *Leiopathes glaberrima*. Se han hallado en los complejos diapiro/volcán Chica y Hespérides, donde existen afloramientos rocosos de origen autigénico, que favorecen el asentamiento de estas especies sésiles. Hay que destacar también la presencia de ejemplares de corales negros a bajas densidades en otros volcanes, como Gazul, donde existe una mayor abundancia de otras especies de corales negros, como *Anthipatella subpinnata*. Hábitat ideal para muchas especies, tanto vertebrados como invertebrados, ya que les proporciona refugio, zonas de cría, reproducción y/o alimento. Este tipo de comunidades favorece el desarrollo un ecosistema con una alta biodiversidad.



Colonia de *Leiopathes glaberrima* encontrada en sustratos duros proporcionados por los carbonatos autigénicos del volcán de fango Pipoca.



Detalles de pólipos de antipatarios: *Anthipatella subpinnata* (arriba) y *Stichopathes gravieri* (abajo).



Colonias de *Leiopathes glaberrima* halladas sobre chimeneas en Hespérides.

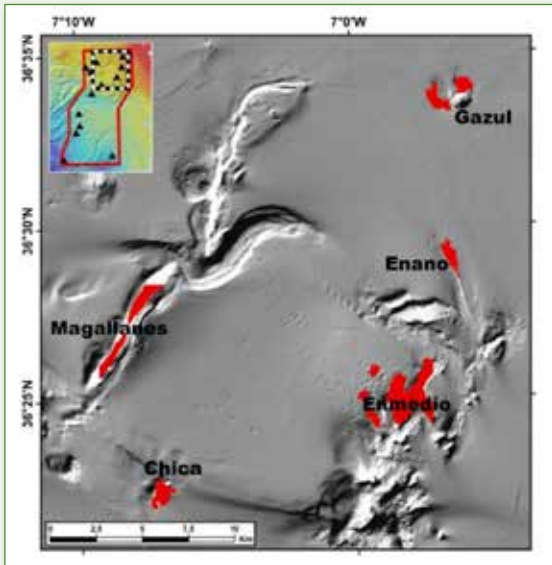
Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: 1170 -Arrecifes

Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema setubalense*) y Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas

Correspondencias

LPRE: 04010106 - Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema setubalense*) // 04010208 - Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas  
EUNIS: A6.62  
OSPAR: Deep-sea sponge aggregations



DESCRIPCIÓN GENERAL

Los hábitats formados principalmente por la esponja hexactinélida *Asconema setubalense* suelen aparecer sobre fondos duros o mixtos y asociados a otras esponjas. Las comunidades con mayor densidad de *A. setubalense* se concentran en el entorno de los complejos de Enmedio y Chica. El hábitat conformado por roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de diferentes esponjas presenta una mayor distribución geográfica y batimétrica, variando entre los 360 y los 700 metros de profundidad. Este hábitat se ha localizado en el volcán de fango Gazul, los complejos diapiro/volcán de Enano, Enmedio y Chica, y en el afloramiento diápirico de Magallanes. Todas estas áreas se caracterizan por presentar fondos duros, estables o mixtos, además de estar sujetas a un importante hidrodinamismo, lo que es crucial para que estas especies sésiles puedan tener una fuente de alimento constante. En el LIC presentan un buen estado de conservación, debido tanto a la abundancia y a la biomasa observada de estas comunidades como a la gran variedad de especies asociadas a ellas.

Especies características

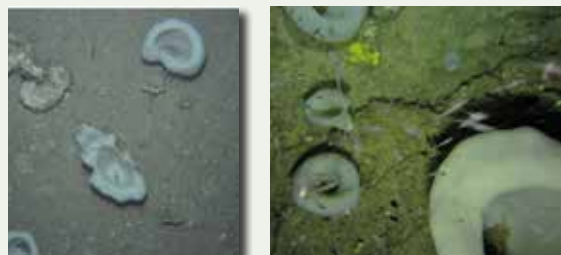
<i>Asconema setubalense</i>	<i>Phakellia ventilabrum</i>
<i>Petrosia</i> cf. <i>Crassa</i>	<i>Pachastrella</i> sp
<i>Haliclona</i> ( <i>Soestella</i> ) <i>mucosa</i>	<i>Geodia</i> sp

Otras especies

Grandes Escleractinias (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*); pequeñas Escleractinias (*Caryophyllia smithii*, *Dendrophyllia cornigera* o *Flabellum chunii*); Gorgonias (*Callogorgia verticillata*, *Acanthogorgia hirsuta*); Antipatharios (*Leiopathes glaberrima*, *Antipathella subpinnata*); Octocorales (*Viminella flagellum*, *Bebryce mollis*, *Swiftia pallida*); Hidrozoos (*Diphasia margareta*, *Polyplumaria flabellata*); Poliquetos serpúlidos (*Vermiliopsis*); Braquiópodos (*Novocrania anomala*, *Gryphus vitreus*); Gasterópodos (*Emarginula fissura*, *Emarginula adriatica*, *Emarginula multistriata*, *Alvania tomentosa*, *Danilia tinei*, *Drilliola loprestiana* o *Clelandella* sp.); Bivalvos (*Asperarca nodulosa*, *Limopsis minuta*, *Astarte sulcata*, *Asperarca nodulosa*); Crinoideos (*Neocomatella europaea*); Ofiuroides (*Ophiotrix fragilis*); Equinoideos (*Cidaris cidaris*, *Gracilechinus acutus*); Asteroideos (*Chaetaster longipes*, *Hymenodiscus coronata*).



Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas.



Fotografías del hábitat Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema setubalense*).



Ejemplares de esponjas que ofrecen sustrato a crinoideos como *Leptometra phalangium* (izquierda) o *Neocomatella europaea* (derecha).

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).



## Hábitats sobre piso batial sedimentario

La mayor parte del talud continental del golfo de Cádiz está cubierto por arenas finas o arenas fangosas. Estos depósitos presentan una elevada inestabilidad por efecto de la pendiente, razón por la cual son muy pocas las especies sésiles formadoras de hábitats que ocupan la zona, siendo algunas especies epibentónicas móviles las que pueden dominar este tipo de fondos sedimentarios. De todos modos, existen ciertas especies de cnidarios o esponjas que, influenciadas por las condiciones ambientales locales, pueden establecerse sobre estas zonas y formar hábitats, como sucede con las comunidades de coral bambú (Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*), el frágil octocoral *Radicipes* (Fangos batiales con *Radicipes*) o las agregaciones de esponjas (Fangos batiales con *Thenea muricata* y *Pheronema carpenteri*). Esta circunstancia incrementa la complejidad estructural de estos fondos blandos y ofrece el sustrato y alimento necesario a diferentes especies de moluscos para desarrollar su vida, decápodos, equinodermos y peces. La facies de crinoideos del género *Leptometra* (Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*) se encuentra en las laderas de los volcanes y también en fondos detríticos (generalmente arenas con gravas). Otra especie habitual de estos ambientes es el cnidario *Flabellum chunii* (Fangos batiales con *Flabellum*) que, aunque suelen ser solitarios, se ha podido observar formando agregaciones. Ofrecen refugio para larvas y sustrato para pequeños invertebrados, principalmente poliquetos.

Los pennatuláceos o plumas de mar, como los pertenecientes al género *Funiculina*, *Pennatula* o *Kophobelemn*, también forman comunidades (Fangos batiales con pennatuláceos, Fangos blandos batiales con *Funiculina quadrangularis*, Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemn stelliferum*) sobre fangos con distinto grado de compactación y sobre los que se desarrolla una interesante variedad de fauna que necesita de este sustrato para construir sus madrigueras, donde posteriormente se establecen otros organismos. A este tipo de comunidad se la conoce en el listado de conservación de OSPAR como: Comunidades de

pennatuláceos y megafauna excavadora (“*Sea-pen and burrowing megafauna communities*”). Esta fauna incluye los crustáceos, estando entre los más comunes la cigala (*Nephrops norvegicus*), el cangrejo *Goneplax rhomboides* y algunos decápodos talasínidos. Su actividad incrementa la complejidad estructural del sedimento con la formación de galerías, con lo que promueve la diversidad de especies en este tipo de hábitat. Este hecho favorece una alta bioturbación y que especies endofaunales<sup>def</sup> colonicen niveles inferiores en el sedimento, pero al mismo tiempo causa efectos negativos a las especies sésiles epifaunales<sup>def</sup>. Algunas zonas ocupadas por estos hábitats están sometidas a una alta presión pesquera, lo cual pone en peligro la persistencia y desarrollo de este tipo de comunidades y los hábitats que generan.

Los hábitats característicos de los fondos sedimentarios localizados en el LIC “Volcanes de fango del golfo de Cádiz” son:

1. Fangos batiales con pennatuláceos: Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemn stelliferum* y/o *Funiculina quadrangularis*
2. Fangos batiales con *Radicipes*
3. Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*
4. Fangos batiales con *Pheronema carpenteri* y con *Thenea muricata*
5. Fangos batiales con *Flabellum* y Fondos detríticos batiales con *Flabellum*
6. Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*



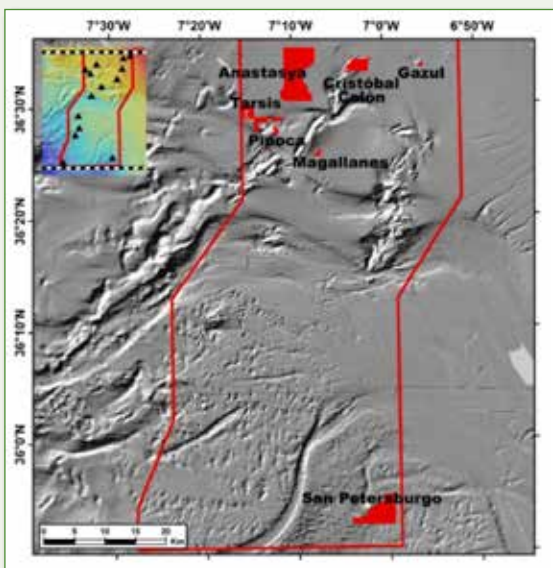
Campo de *Leptometra phalangium*. Foto: IEO/GEMAR.

Directiva Hábitats: Sin correspondencia

**Fangos batiales con pennatuláceos: Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemn* *stelliferum* y/o *Funiculina* *quadrangularis***

**Correspondencias**

LPRE: 04020202 - Fangos batiales con pennatuláceos.  
 04020204 - Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemn* *stelliferum*  
 04020205 - Fangos batiales con dominancia de *Funiculina* *quadrangularis*  
 EUNIS: A6.51  
 OSPAR: Sea-pen and burrowing megafauna communities



**Especies características**

- Kophobelemn* *stelliferum*
- Funiculina* *quadrangularis*
- Pennatula* *aculeata*
- Virgularia* *mirabilis*
- Protoptilum* *sp*

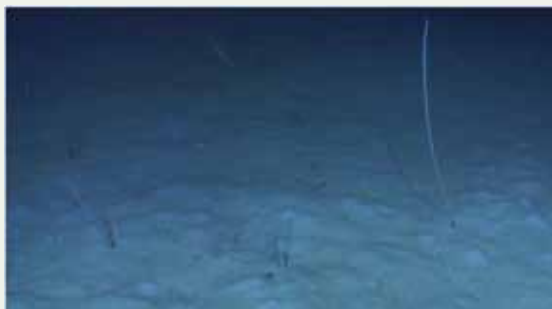
**Otras especies**

*Isidella elongata*, *Thenia muricata* (F); *Nephrops norvegicus* (E); *Goneplax rhomboides* (H); varios decápodos talasínidos, *Bathynectes maravigna*, *Munida intermedia*, *Pagurus alatus*, el solenogastro *Dorymenia sarsii* (K); o el ovúlido *Pseudosimnia flava* (L); los equinodermos *Peltaster placenta* (J) o *Hymenodiscus coronata* (G); el escafópodo *Cadulus jeffreysi* (M); los bivalvos *Abra longicallus* (N); *Thyasira succisa* (Ñ); *Ledella messanensis* (O); *Ennucula aegeensis* (P); *Kelliella miliaris* (Q), y los gasterópodos *Alvania electa* (Q); *Bittium watsoni* (R); *Galeodea rugosa*, *Ranella olearium*, *Gibberula turgidula* (S) o *Ampulla priamus* (I), entre otros.



**DESCRIPCIÓN GENERAL**

Los pennatuláceos son un grupo de cnidarios que muestran una distribución geográfica y batimétrica muy diversa. Entre las especies presentes en zonas batiales del golfo de Cádiz destacan *Kophobelemn* *stelliferum* y *Funiculina* *quadrangularis*, aunque entre sus comunidades pueden encontrarse otros pennatuláceos con menor representación, como *Pennatula aculeata*, *Virgularia mirabilis* e individuos del género *Protoptilum*. Se encuentran en fondos sedimentarios de la plataforma y del talud y están considerados como uno de los hábitats más amenazados. Las comunidades de pennatuláceos son muy importantes para la reproducción de algunas especies de peces, actuando como incubadoras y aumentando significativamente la tasa de supervivencia de huevos y larvas. También proporcionan alimento a diferentes invertebrados, los cuales dependen exclusivamente de ellos. Este tipo de comunidades desarrolla una interesante fauna que necesita de los fondos blandos para construir sus madrigueras (galerías), lo que incrementa la complejidad estructural del sedimento y la diversidad de especies.



Presencia de madrigueras de fauna excavadora y de pennatuláceos como *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* sobre fangos batiales.



*Pennatula*



*Funiculina quadrangularis*

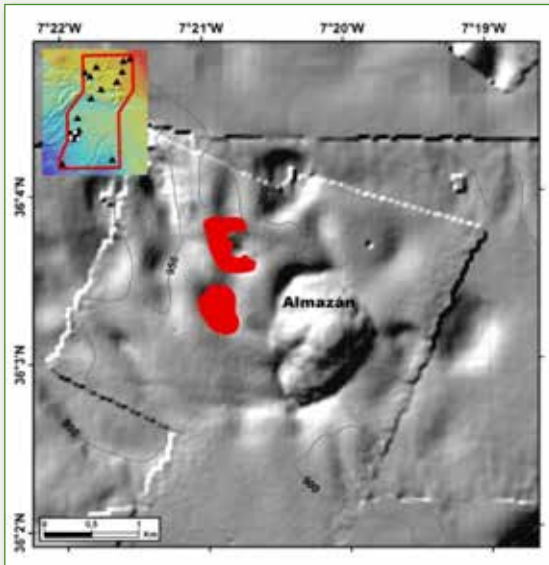


*Kophobelemn stelliferum*

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: Sin correspondencia  
Fangos batiales con *Radicipes*

Correspondencias  
LPRE: 0402020402 - Fangos batiales con *Radicipes*  
EUNIS: A6.94  
OSPAR: Sin correspondencia



#### Especies características

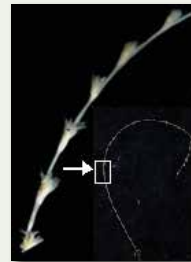
*Radicipes gracilis*  
*Radicipes fragilis*

#### Otras especies

En el golfo de Cádiz se ve acompañada por el coral bambú *Isidella elongata*, la esponja hexactinélida *Pheronema carpenteri* o el pennatuláceo *Protoptilum carpenteri*. También en estos fondos es frecuente encontrar facies de otros octocorales alcionáceos de pequeño tamaño de los géneros *Paralcyonium* y *Siphonogorgia*. Entre las especies móviles se podrían citar el asteroideo *Odontaster mediterraneus*, el decápodo *Nephropsis atlantica* o peces del género *Bathypterois*.

#### DESCRIPCIÓN GENERAL

Las especies del género *Radicipes* (*Radicipes gracilis* y *Radicipes fragilis*) son fácilmente reconocibles por su tallo en espiral y el brillo metálico de su esqueleto. Se trata de una estructura con un eje fuertemente calcificado, que no desarrolla ramas, y adaptado para anclarse en los sedimentos batiales blandos. Su flexibilidad se ve disminuida, aunque no le impide vivir en ambientes de muy alto hidrodinamismo. El octocoral *Radicipes* es una gorgonia caracterizada por formar colonias en aguas frías y profundas, facilitando la construcción de hábitats que proporcionan rodales de mayor complejidad en un ambiente relativamente homogéneo de fangos batiales de baja diversidad. Estas colonias proporcionan un refugio a una gran cantidad de organismos, como moluscos, crustáceos y peces, ofreciendo una zona para su alimentación y un sustrato para organismos suspensívoros. Son organismos frágiles y de muy lento crecimiento. En el LIC, las formaciones más representativas de hábitat se han encontrado en fondos adyacentes al volcán Almazán, con densidades de hasta 4 colonias por metro cuadrado. También se han recogido *Radicipes* en zonas cercanas a Hespérides y Aveiro.



Detalles del octocoral *Radicipes gracilis* recogido en fondos blandos de los Volcanes de fango del golfo de Cádiz.



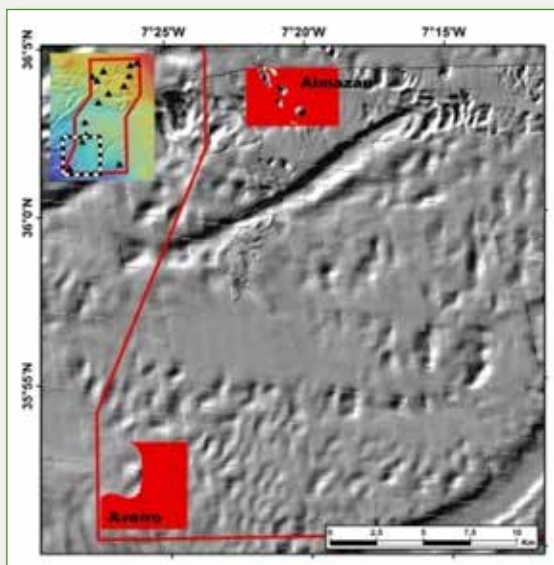
Fangos batiales con los octocorales *Radicipes gracilis* e *Isidella elongata* en fondos blandos del volcán de fango Almazán.

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: Sin correspondencia

**Fangos batiales compactos con *Isidella elongata***

Correspondencias  
 LPRE: 04020206 - Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*  
 EUNIS: A6.514  
 OSPAR: Coral Gardens



**Especies características:** *Isidella elongata*

**Otras especies**

Acompañando al coral bambú se pueden encontrar otras gorgonias, como *Radicipes sp.*, u organismos filtradores, como las esponjas *Pheronema carpenteri* o *Thenea muricata*. También acompañan braquiópodos, como *Gryphus vitreus*, u organismos depredadores de niveles tróficos inferiores, así como otras gorgonias. Igualmente, pueden estar presentes algunos depositívoros o depredadores superiores. En zonas con emisiones de fluidos, también pueden coexistir con organismos quimiosintéticos, como *Siboglinum spp.* o *Solemya elarraichensis*, al igual que con algunas especies de interés comercial, como la gamba roja (*Aristeus antennatus*) y el camarón marcial o quisquilla (*Plesionika martia*). Algunos organismos epibiontes de estos corales son poliquetos y balánidos.



Fotografía obtenida en el volcán de fango Aveiro, mostrando el hábitat de fangos batiales compactos con *Isidella elongata*.

**DESCRIPCIÓN GENERAL**

*Isidella elongata* es un octocoral conocido como coral bambú por sus alternantes nodos negros y entrenudos blancos de calcita, semejando las cañas de bambú. Presenta un crecimiento lento y vive de 150 a 300 años. Está presente en las zonas batiales de sustratos blandos asentada en sedimentos fangosos compactos, entre los 500 y 1.200 metros de profundidad, con fondos relativamente planos (de hasta un 5% de pendiente). Crean estructuras ramificadas que se orientan perpendicularmente a la dirección de la corriente principal, pero que son extremadamente frágiles y, por tanto, muy vulnerables ante las perturbaciones ambientales. Se distribuye principalmente por el Atlántico nordeste y el mar Mediterráneo. En los fangos compactos de los volcanes de fango Aveiro y Almazán domina esta especie, acompañada de pennatuláceos, Radicipes o algunas especies de poríferos. Se han recogido muestras que presentan una longitud de unos 20 centímetros, y que están formadas por un eje principal, de hasta 10 milímetros de diámetro, que se va estrechando, y del que parten filamentos delgados. Se han encontrado colonias de pequeño tamaño muy dañadas en otros volcanes de fango donde existe una alta actividad pesquera. Estas colonias de gorgonáceos se caracterizan por proporcionar un hábitat esencial para la alimentación de depredadores como los equinodermos, ofrecer un sustrato para organismos suspensívoros como antozoos o refugio a una gran cantidad de organismos como moluscos, poliquetos, crustáceos y peces, entre otros. Estos hábitats dominados por corales gorgonáceos proporcionan rodales de alta diversidad en un ambiente relativamente homogéneo de baja diversidad.



Colonia de *Isidella elongata* recolectada en el campo de volcanes de fango del golfo de Cádiz.



Colonia de *I. elongata* sirviendo de sustrato a un huevo de elasmobranquio.

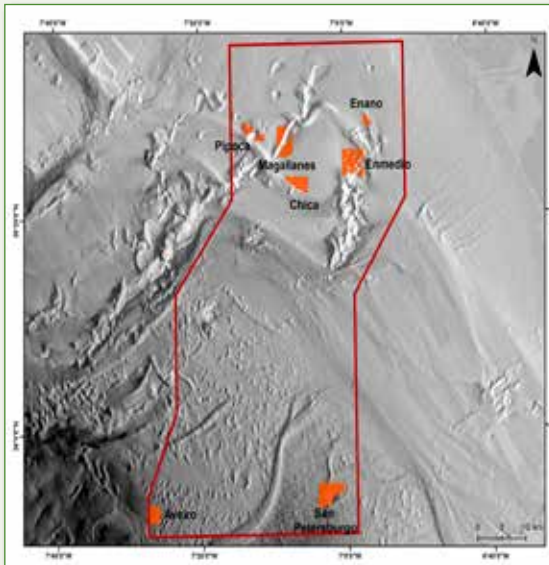
Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: No incluida

## Fangos batiales con *Pheronema carpenteri* Fangos batiales con *Thenia muricata*

Correspondencias

LPRE: 0402020403 - Fangos batiales con *Pheronema carpenteri* y 0402020401 - Fangos batiales con *Thenia muricata*  
EUNIS: A6.621 y A6.511  
OSPAR: Deep-sea sponge



### Especies características:

*Pheronema carpenteri*, *Thenia muricata*

### Otras especies

Alcionáceos (*Radicipes fragilis*, *Isidella elongata*); Pennatuláceos (*Funiculina quadrangularis*, *Pennatula aculeata*, *Kophobelemnion stelliferum*, *Protoptilum sp.*); Crustáceos decápodos talasínidos (*Nephrops norvegicus*, *Goneplax rhomboides*, *Nephropsis atlantica* y distintas especies del género *Munida*, destacando la especie *Munida intermedia*); otros Crustáceos (*Calappa granulata*, *Pagurus alatus*, *Stereomastis sculpta*); Moluscos gasterópodos (*Ranella olearium*, *Galeodea rugosa*, *Ampulla priamus*, *Colus gracilis*, *Alvania electa* o *Bittium watsoni*); Moluscos escafópodos (*Cadulus jeffreysi*); Moluscos Bivalvos (*Abra longicallus*, *Kelliella miliaris*, *Parvicardium minimum*, *Cardiomya costellata*, *Cetomya neaeorides*, *Yoldiella philippiana*, *Thyasira succisa*, *Thyasira granulosa*, *Cuspidaria rostrata*, *Saccella commutata* o *Delectopecten vitreus*); Equinodermos (*Odontaster mediterraneus*, *Nymphaster arenatus*, *Peltaster placenta*); Fauna íctica (*Gnathophis mystax*, *Chlorophthalmus agassizi*, *Chimaera monstrosa*, *Malacocephalus laevis*, *Nezumia aequalis*, *Lophius budegassa*, *Synphobranchus kaupii*, *Bathypterois dubius*, *Centrophorus granulosus*, *Dalatias licha*, *Oxynotus centrina*).



Imágenes submarinas del hábitat Fangos batiales con *Thenia muricata*, presente en la zona del volcán de fango.

### DESCRIPCIÓN GENERAL

*Pheronema carpenteri* es una esponja hexactinélida que posee largas espículas basales que le permiten anclarse al sustrato fangoso, formando grandes agregaciones con alta densidad de individuos. Su alimentación es suspensívora. Se distribuye por todo el Atlántico noreste, con un rango de profundidad comprendido entre los 500 y 1.500 metros. *Thenia muricata* es una demosponja de pequeño tamaño propia de fondos blandos y un rango batimétrico muy amplio. Su distribución geográfica se concentra en el Atlántico norte, con registros desde el mar Mediterráneo hasta el golfo de México. Se trata de una especie estructural que posee un importante papel en la biodeposición de partículas orgánicas de pequeño tamaño y que sirven de alimento a invertebrados depositívoros.

Los fangos batiales con *Pheronema carpenteri* y/o con *Thenia muricata* presentan una amplia distribución, localizándose sobre fondos fangosos o arenoso-fangosos y en áreas con un moderado hidrodinamismo. Su importancia radica en que pueden presentarse con una elevada abundancia y/o biomasa, enriqueciendo algunas áreas, al aumentar los recursos tróficos e influir en la estructura y productividad de comunidades bentónicas adyacentes. Las agregaciones de esponjas con dominancia de *P. carpenteri*, localizadas fundamentalmente en la zona profunda del LIC, pueden aparecer asociadas a *T. muricata*. Los campos de esponjas con dominancia de *T. muricata* aparecen tanto en la zona profunda como en la más somera, presentándose asociados a un gran número de pennatuláceos, en este último caso.



Imagen submarina de *Pheronema carpenteri*, presente en el volcán de fango San Petersburgo.



Detalle de un ejemplar del pectínido *Delectopecten vitreus* sobre las fibras de *Pheronema carpenteri*.

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: Sin correspondencia

Fangos batiales con *Flabellum*

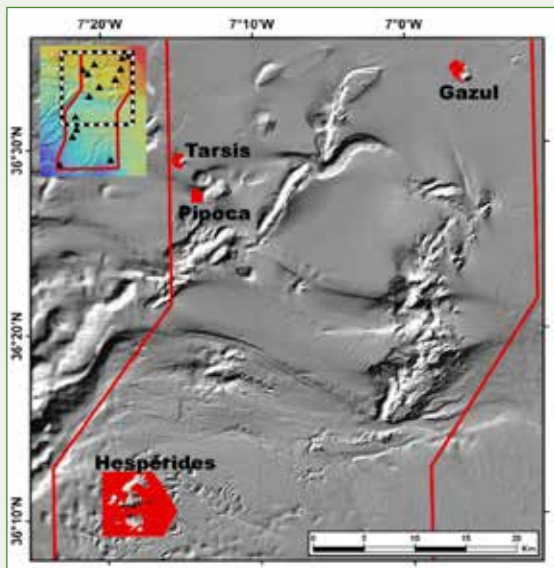
Fondos detríticos batiales con *Flabellum*

Correspondencias

LPRE: 04020203 - Fangos batiales con *Flabellum* // Fondos detríticos batiales con *Flabellum* (sin correspondencia)

EUNIS: A6.5, aunque no tiene correspondencia específica.

OSPAR: Coral gardens



**Especies características:**

*Flabellum chunii*  
*Flabellum macandrewi*

**Otras especies**

Este género puede estar acompañado de otros organismos sésiles y móviles que colonizan fondos blandos de diferentes texturas granulométricas, como pennatuláceos (*Funiculina quadrangularis*), esponjas (*Thenea muricata*) y equinodermos (*Leptometra spp.*, *Brissoopsis spp.*). Algunos invertebrados como el poliqueto *Lumbrineris flabellicola* están directamente asociados a estos corales solitarios, viviendo sobre ejemplares vivos de *F. chunii*, incluyendo los encontrados en el golfo de Cádiz. Algunos ejemplares de gran tamaño pueden presentar otras especies de poliquetos más generalistas, como son los serpúlidos (ej.: *Vermiliopsis*, *Serpula*).

**DESCRIPCIÓN GENERAL**

El coral de aguas frías *Flabellum* es un escleractinio solitario que pertenece a la familia Flabellidae. *Flabellum* vive, fundamentalmente, a lo largo del talud y sobre sustratos blandos batiales. Parece estar restringido a fondos con sedimentos finos, aunque también está presente en fondos detríticos y sometidos a bajo hidrodinamismo. Estos corales suelen ser solitarios, aunque se han observado agregaciones consistentes en unos pocos individuos de gran tamaño y varios individuos de menor talla. Estos corales pueden formar arrecifes biogénicos, reteniendo sedimentos blandos y ofreciendo una amplia variedad de microhábitats y nichos para la fauna de aguas profundas. Las agregaciones de *Flabellum* incrementan la heterogeneidad sedimentaria, favoreciendo una mayor biodiversidad de especies, y caracterizándose por presentar una mayor abundancia y biomasa que los fondos similares sin estas escleractinias. Ofrecen refugio para larvas y sustrato para la puesta de pequeños invertebrados. Asimismo, son importantes para el desove y alimentación de varias especies de aguas profundas de importancia comercial. En aguas europeas se han encontrado 4 especies, siendo sólo 2 (*Flabellum chunii* y *Flabellum macandrewi*) las halladas en aguas españolas del golfo de Cádiz. *F. macandrewi* es mucho más rara y ha sido recogida tan solo en Hespérides (en torno a 815 metros de profundidad). *F. chunii* es mucho más común y puede llegar a ser una de las especies dominantes en los fondos adyacentes y depresiones de los volcanes Gazul, Pipoca, Tarsis y Hespérides (entre 460 y 820 metros). Ambas especies son componentes comunes de los fondos bioclásticos de muchas zonas del campo de volcanes.



*Flabellum chunii* y *Leptometra phalangium* sobre sustratos blandos biogénicos (con púas de *Cidaris cidaris*) en volcanes de fango del golfo de Cádiz.



Ejemplares fotografiados sobre sustratos blandos de tipo detrítico de la zona del volcán de fango Pipoca.

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).

Directiva Hábitats: Sin correspondencia

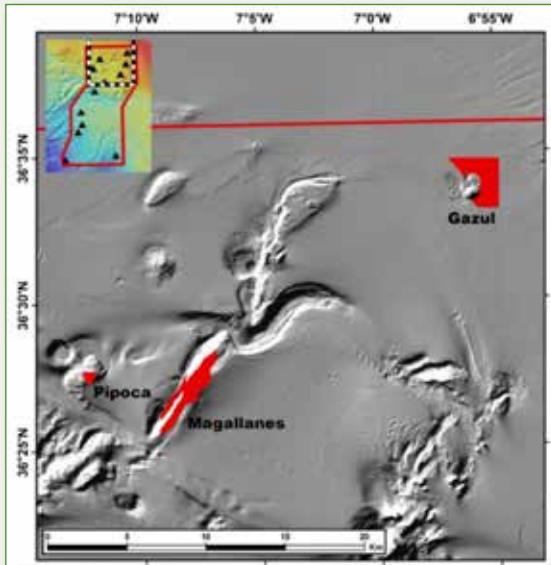
Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*

Correspondencias

LPRE: 0402031106 - Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*

EUNIS: A5.472

OSPAR: Sin correspondencia



Especies características: *Leptometra phalangium*

DESCRIPCIÓN GENERAL

Los fondos detríticos batiales formados por un sustrato sedimentario, mezcla de materiales terrígenos y biogénicos, sustentan una comunidad bentónica en la que el crinoideo *Leptometra phalangium* es un importante componente, dominando entre las especies megabentónicas, y llegando a formar los llamados campos de crinoideos. Dichos campos se localizan en las zonas del talud con un alto hidrodinamismo y con aportes elevados de materia orgánica y plancton. Poseen unas altas tasas de productividad, tanto primaria como secundaria, y una elevada biodiversidad asociada. Además de los pequeños organismos de la fauna bentónica que encuentran refugio en ellos, son lugares que presentan elevadas densidades de megafauna bentónica y demersal. Entre los volcanes de fango del área somera se han encontrado campos de *L. phalangium*, en los que convive con *L. celtica*, compartiendo el hábitat con unas 130 especies más. Las mayores densidades encontradas de este equinodermo se dan en el volcán Pipoca y en los fondos adyacentes al volcán Gazul.

Otras especies

Los poríferos *Phakellia spp.* y *Pachastrella sp.*; el coral *Flabellum chunii*; gorgonias como *Acanthogorgia hirsuta* o *Bebryce mollis*; los braquiópodos *Novocrania anomala* o *Gryphus vitreus*; los moluscos *Asperarca nodulosa*, *Limopsis angusta*, *Bathyarca philippiana*; los peces *Trisopterus capelanus*, *Macroramphosus scolopax*, *Trachurus trachurus*, *Illex coindetii*, *Merluccius merluccius*, *Helicolenus dactylopterus*, *Phycis blennoides*, *Capros aper*, *Mullus barbatus*, *Lepidorhombus boscii*, *Chelidomichthys cuculus*, *Lepidotrigla cavillone*, *Lophius budegassa*, *Zeus faber*; los equinodermos *Mesothuria intestinalis*, *Astropecten cf. irregularis*, *Ophiura ophiura*, *Gracilechinus acutus*; los decápodos *Parapenaeus longirostris*, *Ergasticus clouei*, *Bathynectes maravigna*; los gasterópodos *Alvania cimicoides*, *Alvania zetlandica*, *Pagodula echinata*, y los bivalvos *Limopsis aurita*, *Cardiomya costellata*, *Bathyarca philippiana*, *Parvamussium fenestratum*.



Campo de *Leptometra phalangium* en los fondos detríticos presentes en el volcán de fango Pipoca.



Individuos de *Leptometra phalangium* en una zona de alto hidrodinamismo (ladera volcán Gazul).

Fuente: IEO/GEMAR (figuras) y Fundación Biodiversidad - Mónica Campillos (mapa).



Figura 6.2. Algunas de las especies halladas en el LIC “Volcanes de fango del golfo de Cádiz”. Fuente: IEO/GEMAR.

## Biodiversidad

Se han identificado especies pertenecientes a muy diversos filos (*Cnidaria*, *Mollusca*, *Arthropoda*, *Porifera*, *Echinodermata*, *Annelida*, *Brachiopoda*, *Chordata*, entre otros). Muchas de las especies identificadas en el LIC se encuentran incluidas en diferentes catálogos de especies amenazadas, nacionales e internacionales, entre las que se hallan varias especies de elasmobranquios de profundidad. Otras especies son importantes desde el punto de vista comercial (ej.: merluza, cigala, gamba) o científico (ej.: corales de aguas frías, tapetes bacterianos). El estudio de estas comunidades y de sus hábitats es importante para poder evaluar el impacto de la acción antrópogénica<sup>def</sup>.

Uno de los factores influyentes en la composición faunística de estas comunidades es la ubicación geográfica del golfo de Cádiz, puesto que en esta zona es donde se produce una enorme confluencia de especies. Así, es posible encontrar en el LIC especies con una amplia distribución cosmopolita (*Funiculina quadrangularis*, *Chaulio dussloani*, etc.), otras cuya distribución principal se sitúa en el Atlántico norte y en el mar Mediterráneo (*Micromesistius poutassou*, *Merluccius merluccius*, *Nephrops norvegicus*, etc.), especies endémicas<sup>def</sup> del golfo de Cádiz y del mar de Alborán (*Galeus atlanticus*, *Limopsis aurita*), especies propias del mar Mediterráneo (*Plesionika giglioli*) o especies tropicales de ambos lados del Atlántico (*Haliella superba*). Señalar también la importancia del golfo de Cádiz como corredor

migratorio de reptiles, cetáceos, aves marinas y grandes especies pelágicas, como el atún rojo (*Thunnus thynnus*).

## I) Especies pelágicas

### ••• Mamíferos marinos

El golfo de Cádiz constituye un área de paso relevante para el grupo faunístico de los cetáceos. Las especies más representativas son el delfín mular (*Tursiops truncatus*), el delfín común (*Delphinus delphis*), el zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), el delfín listado, la marsopa (*Phocoena phocoena*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*), la orca (*Orcinus orca*) y el calderón común del Mediterráneo (*Globicephala melas*), entre otras especies. Los cachalotes, calderones y delfines tienen una presencia prolongada en el área (de abril a octubre), mientras que otras especies sólo aparecen en periodos restringidos, como son las orcas (de julio a agosto). Los avistamientos de delfín mular, delfín común y delfín listado son relativamente frecuentes, por lo que parecen existir poblaciones residentes. El mayor impacto sobre este grupo se centra en la captura accidental con los artes de pesca, además de la provocada por la contaminación acústica.

### ••• Reptiles marinos

Debido a su proximidad al estrecho de Gibraltar, lugar de paso de numerosas especies que realizan migraciones tróficas y reproductivas,





**Figura 6.3.** (Izquierda) Orca y su cría (*Orcinus orca*). (Derecha) *Globicephala melas*. **Fotos:** CIRCE.

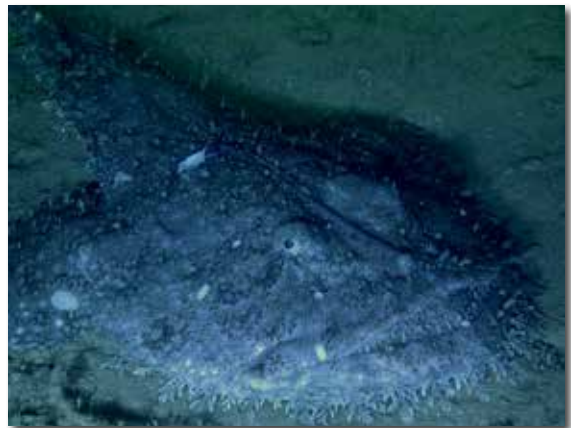
el golfo de Cádiz se puede considerar como un área importante para la conservación de las poblaciones de tortugas marinas. De hecho, se observan con frecuencia ejemplares de tortuga boba (*Caretta caretta*) y ejemplares de tortuga laúd (*Dermodochelys coriacea*). Otras especies también se han observado de forma puntual en estas latitudes, como la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) o tortuga verde (*Chelonia mydas*), entre otras. La tortuga boba (*Caretta caretta*) es la especie más abundante y, junto con la tortuga carey y la laúd, son las más comunes en el mar Mediterráneo. Los juveniles presentan una distribución costera, mientras que los adultos habitan en el océano abierto.

Las principales amenazas que presentan estas especies cosmopolitas son las provocadas por las capturas accidentales, principalmente con palangre de superficie, el choque con las embarcaciones o el efecto provocado por la contaminación de los mares. De todas las actividades antropogénicas<sup>def</sup>, la que causa un mayor efecto negativo es la ocupación de los lugares de desove (playas). Por todas estas razones, muchas de estas especies están protegidas por los convenios de Bonn, Berna, Barcelona o CITES y se encuentran clasificadas por la UICN como en peligro crítico, es decir, en extremo riesgo de extinción en su medio natural en un futuro inmediato.

### ...❖ Peces

En el golfo de Cádiz existe una pesquería tradicional de especies pelágicas, siendo las más importantes, por su abundancia en capturas, el boquerón (*Engraulis encrasicolus*) y la sardina (*Sardina pilchardus*) y, en menor medida, el jurel (*Trachurus* spp.) y la caballa (*Scomber* spp.). Todas ellas son de hábitos pelágicos<sup>def</sup> y de zonas someras. El LIC no se ve

afectado directamente por la captura de estas especies, ya que su pesquería no se centra en el área de los volcanes de fango.



**Figura 6.4.** Rape común (*Lophius piscatorius*) en el volcán de fango Anastasya, a 500 metros de profundidad aproximadamente. **Foto:** IEO/GEMAR.

## II) Aves marinas

El golfo de Cádiz representa también un enclave de gran importancia para las aves marinas, gracias a su localización geográfica estratégica, a caballo entre el Atlántico y el Mediterráneo, así como a su elevada productividad y al buen estado de conservación de buena parte del litoral.

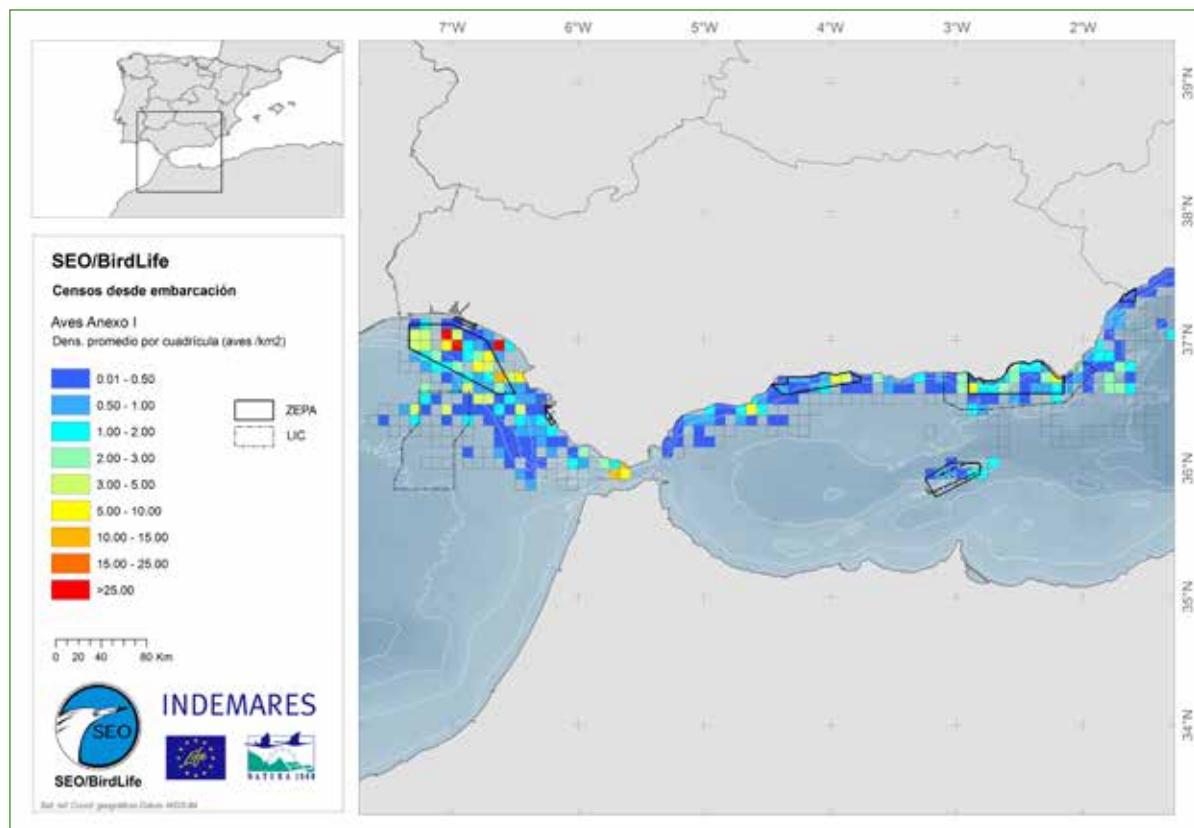
En todo el ámbito del Golfo se han identificado 4 Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBA) marinas, de las que 3 han sido designadas como ZEPA. Dos de estas últimas son espacios costeros de poca extensión, los espacios marinos del Tinto y del Odiel y de la Bahía de Cádiz, identificados por las importantes colonias adyacentes de charrancito común (*Sternula albifrons*), mientras que la IBA por designar es el Estrecho de Gibraltar, uno de los enclaves más importantes, a nivel europeo y mundial, para la migración de aves. Finalmente,

encontramos la ZEPA denominada Golfo de Cádiz, que se extiende en buena parte de la amplia y rica plataforma continental, desde la frontera con Portugal hasta las aguas frente a la desembocadura del Guadalquivir, desde unos 8 kilómetros de costa hacia afuera, ocupando 2.314 kilómetros cuadrados.

Esta ZEPA coincide con una zona de elevada productividad, debida principalmente a los ricos aportes fluviales del río Guadalquivir y, en menor medida, del Guadiana, del Tinto y del Odiel, así como al complejo régimen oceanográfico del Golfo en su conjunto, sujeto a importantes cambios estacionales. En toda la zona de plataforma, y gracias a la elevada productividad, existen zonas muy importantes para el desarrollo larvario de ciertas especies de interés pesquero, entre ellas el boquerón (*Engraulis encrasicolus*) y la sardina (*Sardina pilchardus*), que constituyen presas especialmente importantes para las aves marinas. Esta elevada riqueza piscícola convierte, por tanto, a la ZEPA en una importante área de alimentación para las aves marinas, tanto especies reproductoras en la región como

migratorias o invernantes, aspecto reforzado por la posición estratégica de la zona en las rutas migratorias de las aves marinas.

Entre las especies que migran a través de la región destaca la críticamente amenazada pardela balear (*Puffinus mauretanicus*), que alcanza cifras de varios miles de aves dentro de la ZEPA en algunos periodos. Es especialmente abundante durante el paso otoñal, cuando las aves regresan al Mediterráneo tras unos meses de estancia post-reproductora en el Atlántico. Entre otoño e invierno, cabe destacar la presencia de miles de paíños europeos (*Hydrobates pelagicus*), que parece alargarse en la zona más allá de la época de paso y, por tanto, podría hablarse de verdadera invernada en la zona. De ser así, el Golfo representaría su área de invernada regular más septentrional para la especie. También destaca el alcatraz atlántico (*Morus bassanus*), con cifras que superan las 12.000 aves en otoño-invierno. Asimismo, la gaviota de Audouin (*Larus audouinii*) es frecuente, con varios centenares de ejemplares censados durante el invierno. Estas aves deben pertenecer a la importante



**Figura 6.5.** Densidades promedio de aves marinas incluidas en el Anexo I de la Directiva Aves, estimadas a partir de los censos desde embarcación realizados durante el proyecto LIFE+ INDEMARES en aguas del golfo de Cádiz y el mar de Alborán. El color de las cuadrículas (de 5x5 minutos de arco) es proporcional a la densidad de aves (ver escala). Se aprecia la importancia de la ZEPA marina golfo de Cádiz). **Fuente:** SEO/BirdLife.

población que inverna en las costas de Doñana, y podrían ser más abundantes durante la noche en la ZEPA, ya que el comportamiento de alimentación de esta especie es marcadamente nocturno en invierno.

La pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*) es común durante todo el periodo reproductor y de migraciones. En época de cría, además de posibles aves no reproductoras, la zona es

utilizada como área de alimentación por las aves de las islas Chafarinas e, incluso, por aves reproductoras de Canarias.

Por otro lado, en migración son muy comunes los charranes, destacando el charrán común (*Sterna hirundo*) y el charrán patinegro (*Sterna sandvicensis*). Este último también es abundante en invierno, con más de 1.000 aves estimadas en promedio.

Nombre científico	Verano		Invierno	
	Aves/100 km	Nº total	Aves/100 km	Nº total
<i>Calonectris diomedea</i>	14,70	1.245	-	-
<i>Puffinus mauretanicus</i>	11,66	903	95,69	6.604
<i>Hydrobates pelagicus</i>	-	-	218,62	18.267
<i>Oceanodroma leucorhoa</i>	-	-	0,08	n.e
<i>Oceanodroma castro</i>	0,35	n.e.	-	-
<i>Oceanites oceanicus</i>	0,52	51	-	-
<i>Morus bassanus</i>	14,41	1.067	186,13	10.443
<i>Stercorarius pomarinus</i>	-	-	0,27	n.e.
<i>Stercorarius parasiticus</i>	-	-	0,37	n.e.
<i>Stercorarius longicaudus</i>	-	-	0,19	n.e.
<i>Stercorarius skua</i>	-	-	17,19	375
<i>Larus melanocephalus</i>	-	-	0,33	n.e.
<i>Larus audouinii</i>	0,19	n.e.	2,06	117
<i>Larus canus</i>	-	-	0,16	n.e.
<i>Larus fuscus</i>	-	-	69,52	90
<i>Larus michahellis</i>	-	-	15,55	19
<i>Sterna sandvicensis</i>	14,15	1.103	2,87	171

**Tabla 6.1.** Especies observadas en la ZEPA Golfo de Cádiz en las campañas de primavera-verano (abril-agosto) y otoño-invierno (octubre-diciembre), durante las campañas de censo de INDEMARES. Se indica el número de aves observado por cada 100 kilómetros recorridos, así como la estima del número total de aves (promedio) presentes a partir de las densidades estimadas en cada periodo (para aves escasas, con estimas por debajo de 50 ejemplares, no se evalúa: n.e.).



Figura 6.6. Paíño europeo (*Hydrobates pelagicus*). Foto: SEO/BirdLife - J. M. Arcos.

### III) Especies bentónicas y demersales

Hasta la fecha, se han catalogado unas 850 especies que habitan sobre los fondos marinos ocupados por los volcanes de fango. Los grupos faunísticos más diversos son los moluscos (~200 spp.), peces (120 spp.), poríferos (110 spp.), crustáceos (~ 100 spp), cnidarios (~80 spp.), anélidos (~70 spp.) y equinodermos (~50 spp.). Son numerosas las especies identificadas (hasta una veintena) tanto sobre los volcanes como en los fondos adyacentes, que están incluidas en listados de conservación autonómico (Libro Rojo de Invertebrados de Andalucía), nacional e internacional, y catalogadas como especies amenazadas (*Charonia lampas*, *Centrophorus granulatus*, corales escleractinios como *Lophelia pertusa* o *Madrepora oculata*, entre otras).

Otras especies representan nuevas citas científicas para el margen continental europeo, como es el equinodermo *Hacelia superba*, el pez *Zenion hololepis* y los moluscos bivalvos *Solemya elarraichensis* o *Lucinoma asapheus*. Además, también hay que añadir nuevas citas para las aguas españolas, como son el pez *Opisthoproctus grimaldii*, el molusco

gasterópodo *Pseudosimnia flava* o los bivalvos *Acharax gadirae* y *Neopycnodonte zibrowii*.

En los volcanes de fango o en sus áreas adyacentes existen numerosas especies comerciales propias tanto de zonas fangosas como rocosas, siendo las más dominantes, en base a su abundancia y/o biomasa, especies como los crustáceos *Parapenaeus longirostris* (gamba), *Nephrops. norvegicus* (cigala) o los peces como *Merluccius merluccius* (merluza) o *Lophius spp.* (rape), entre otras.

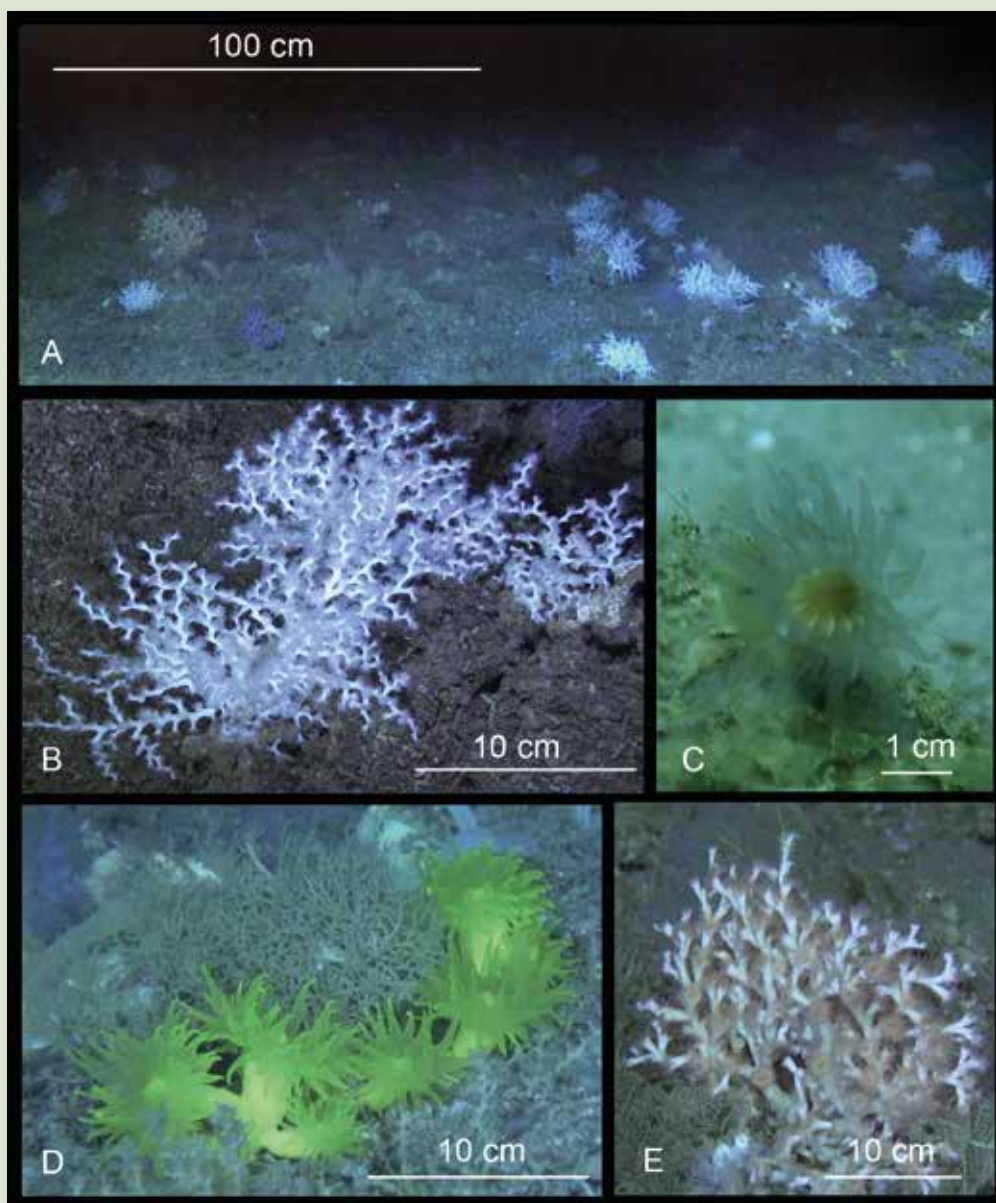
### ❖ Corales y Esponjas

Muchas de las especies de antozoos (hexacorales y octacorales) como de hidrozoos, pertenecientes al filo Cnidaria, así como diferentes especies pertenecientes al filo Porifera, poseen una gran importancia para el equilibrio de los ecosistemas marinos. La estructura tridimensional que pueden adquirir muchas de las especies pertenecientes a estos filos aporta un lugar de refugio para muchas otras especies, además de ser la base de alimentación para otras tantas. Por lo tanto, se trata de especies estructurantes de hábitats que presentan una alta complejidad y en los que la diversidad aumenta considerablemente.

### Corales de aguas frías

En el siglo XVIII, los pescadores ya conocían la existencia de arrecifes de corales de aguas frías, puesto que eran zonas muy productivas para la pesca. Este hecho atrajo el interés de la comunidad científica, que no comprendía como podrían subsistir aquellos arrecifes en condiciones aparentemente adversas donde no penetra la luz solar y, en ocasiones, ubicados en latitudes muy altas. No ha sido hasta hace pocas décadas que la tecnología de prospección ha permitido estudiar de manera precisa dichos ecosistemas desarrollados a grandes profundidades.

A diferencia de sus parientes tropicales de aguas cálidas, los corales de aguas frías se encuentran, generalmente, en zonas más profundas y frías, aguas afuera de las plataformas continentales, en fiordos y alrededor de bancos submarinos costeros y montes submarinos. No poseen zooxantelas, ya que estas algas simbióticas necesitan aguas bien iluminadas para poder realizar la fotosíntesis.



Principales especies de corales de aguas frías encontradas en el volcán Gazul: (A) Aspecto general (B) *Madrepora oculata*, (C) *Caryophyllia smithii*, (D) *Dendrophyllia cornigera*, (E) *Lophelia pertusa*. Fuente: IEO/GEMAR.

Los corales de aguas frías viven en mar abierto, generalmente en rangos de temperatura comprendidos entre los 4 y los 12 grados centígrados, a profundidades que oscilan entre los 39 metros (en los fiordos de Noruega) hasta casi los 4.000 metros (en Nueva Inglaterra, al norte del océano Atlántico), aunque la profundidad media de distribución de estas especies suele encontrarse entre los 200 y los 2.000 metros. La presencia de los arrecifes de corales de aguas frías es ampliamente conocida a lo largo del margen atlántico europeo, existiendo reductos de este hábitat en zonas del mar Mediterráneo, aunque son numerosos los registros de paleo-arrecifes que indican una mayor presencia de dichas comunidades en el último período glacial. La información sobre este hábitat es menor más allá del Atlántico norte, pero se conocen arrecifes de estas especies en el Atlántico sur, así como en ciertas zonas de los océanos Índico y Pacífico, lo que nos indica que son especies cosmopolitas.

Con frecuencia, se acostumbra a designarlos, de una manera genérica, como coral blanco, pero presentan diferentes tonalidades, que incluyen el blanco y también el amarillo, naranja o el rojo. La formación de arrecifes puede durar siglos o milenios, ya que son especies de muy lento crecimiento y esta lentitud parece incrementarse con la profundidad. Se alimentan del plancton y de materia orgánica suspendida. La principal característica que los diferencia de sus parientes tropicales es que están formados por muy pocas especies, unas 10 aproximadamente, frente a la gran variedad y diversidad que componen los arrecifes de aguas cálidas.

Estas formaciones coralígenas muestran una alta biodiversidad y están dominadas por las especies *Madrepora oculata* (B), seguida de *Lophelia pertusa* (C), a las que acompañan diversas especies de escleractinias solitarias de menor tamaño, como *Dendrophyllia cornigera* (D), *Flabellum chunii*, *Caryophyllia smithii* (C) o *Eguchipsammia gaditana*. Los arrecifes de corales de aguas frías (principalmente *Lophelia pertusa* y *Madrepora oculata*) están más extendidos en las costas atlánticas, pero prácticamente en vías de extinción en el mar Mediterráneo. Mientras *Lophelia pertusa* es la especie de mayor abundancia en la mayoría de los arrecifes profundos de las aguas europeas atlánticas, por el contrario en el mar Mediterráneo parece distribuirse de forma esporádica y con densidades muy pequeñas.

El hábitat de arrecifes de corales profundos se ha encontrado en aguas españolas en zonas muy concretas, como son el cañón de Avilés, el banco de Galicia, la costa norte de la isla de Gran Canaria, la zona del estrecho de Gibraltar, el mar de Alborán o en el golfo de León (cañón de Creus). También en el LIC “Volcanes de fango del Golfo de Cádiz”.

En aguas españolas del golfo de Cádiz, entre los numerosos volcanes de fango estudiados, se han localizado los arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata* en la ladera norte del volcán Gazul, a una profundidad de unos 400 metros. Su hallazgo en este volcán puede deberse a que pertenece al grupo de volcanes de fango en estado latente (ya sin emisiones activas de fluidos hidrocarburos). Además, se trata de una zona donde existe un alto hidrodinamismo y la actividad pesquera de arrastre de fondo es mínima, lo que favorece la conservación y el desarrollo de estos hábitats tan sensibles y vulnerables a las artes pesqueras. Se observaron densidades altas para *Madrepora oculata* y medianas para *Lophelia pertusa*. Destaca también que en zonas más profundas del LIC (los volcanes de fango Hespérides y Almazán) existen numerosos restos de antiguos arrecifes coralinos de *Madrepora oculata*, *Lophelia pertusa* y *Dendrophyllia alternata* como resultado de la fuerte regresión que experimentaron tras la última glaciación.



**Figura 6.7.** (izquierda) Pólipos de *Madrepora oculata*; (derecha) *Lophelia pertusa*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

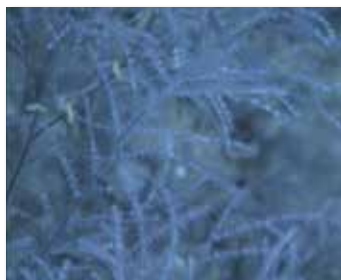
Entre los cnidarios escleractinios se encuentran los corales de aguas frías de gran porte, como *Madrepora oculata* y *Lophelia pertusa*, o los de menor altura, como *Dendrophyllia cornigera*. El asentamiento y desarrollo de estos organismos suspensívoros se ve favorecido por la presencia de sustratos duros, además de por un alto hidrodinamismo en la zona y de aguas cercanas ricas en nutrientes.

Los corales negros son antipatarios y, en su mayoría, están fuertemente ligados a la presencia de sustratos duros, aunque algunos se han adaptado a vivir sobre fondos blandos. En general, se trata de corales de aguas profundas, aunque su presencia también ha sido documentada a profundidades menores de 40 metros. En el golfo de Cádiz se ha constatado la presencia de los antipatarios como *Leiopathes glaberrima*, *Antipathella subpinnata*, *Stichopathes setacea* y *Stichopathes gravieri*, *Parantipathes cf. larix*. En los volcanes Chica y Hespérides (profundidad entre los 600 y 800 metros) se han localizado ejemplares de *Leiopathes glaberrima* con un alto porte (hasta 70 centímetros), siendo la principal especie de coral negro que domina sobre este hábitat. Ambos volcanes presentan afloramientos

rocosos de origen autigénico, como chimeneas y enlosados, que favorecen el asentamiento de estas especies sésiles. Hay que destacar también la presencia de ejemplares de corales negros a bajas densidades en volcanes como Pipoca o Gazul, existiendo, en este último, una mayor abundancia de otras especies de corales negros, como *Anthipathella subpinnata*.

Otra escleractinia catalogada es el coral solitario perteneciente al género *Flabellum*, representada por dos especies: *Flabellum chunii* y *Flabellum macandrewi*. Este pequeño coral parece estar restringido fundamentalmente sobre fondos con sedimentos finos (limo y arcilla) a lo largo del talud. Ambas especies son componentes comunes de los fondos bioclásticos de muchas zonas de este campo de volcanes de fango (Gazul, Pipoca y Tarsis y de los complejos diapiro/volcán de Chica y Hespérides).

Otro grupo de cnidarios con notable presencia es el de las gorgonias. Algunas de sus especies prefieren sustratos duros, llegando a formar hábitats singulares (“coral gardens” – “jardines de coral” – de OSPAR), y se distribuyen por los volcanes que presentan carbonatos autigénicos sobre el fondo marino. En los volcanes Hespérides y Almazán se han encontrado



**Figura 6.8.** (izquierda) *Leiopathes glaberrima*; (centro) *Anthipathella subpinnata*; (derecha) *Flabellum chunii*. **Fotos:** IEO/GEMAR.



Figura 6.9. (izquierda) *Swiftia pallida*; (centro) *Acanthogorgia hirsuta*; (derecha) *Bebryce mollis*. Fotos: IEO/GEMAR.

especies de pequeño tamaño (*Acanthogorgia hirsuta*, *Swiftia*, *Bebryce mollis*, *Gymnosarca bathybius*, *Placogorgia* spp.), mientras que en Chica aparecen especies de gran porte, como *Callogorgia verticillata*. La gorgonia látigo (*Viminella flagellum*) se caracteriza por su escasa ramificación.

También se han localizado otras gorgonias más comunes de fondos blandos y de aguas frías y profundas, como la especie *Radicipes fragilis*. Este frágil octocoral se caracteriza por formar colonias no ramificadas, pero fuertemente calcificadas para anclarse en los sedimentos batiales blandos. Es fácilmente reconocible por su tallo en espiral y el brillo metálico de su esqueleto. Se encuentran en un amplio rango de profundidad y su género se compone de un gran número de especies muy diferentes. Se adapta perfectamente a vivir en ambientes de fuerte turbulencia.

Otro coral característico de zonas fangosas es el coral bambú *Isidella elongata*. Este octocoral está presente en las zonas batiales de sustratos fangosos compactos, entre los 500 y 1.200 metros de profundidad, en fondos relativamente planos. Se orientan perpendicularmente a la dirección de la corriente principal. El coral bambú, llamado así por sus alternantes

nodos negros y entrenudos blancos de calcita semejando las cañas de bambú, presenta un crecimiento lento y de larga vida (de 150 a 300 años). Son extremadamente frágiles y tienen una distribución irregular, siendo muy vulnerables ante perturbaciones.

Los pennatuláceos, o plumas de mar, son un grupodeantozoosquemuestranunadistribución geográfica y batimétrica muy diversa, pudiendo encontrarse ejemplares a más de 6.000 metros de profundidad. Entre las especies catalogadas destacan: *Kophobelemnion stelliferum* y *Funiculina quadrangularis*, que son bastante comunes a ambos lados del océano Atlántico y en el mar Mediterráneo. El pennatuláceo *Funiculina quadrangularis* puede superar el metro de altura. Frente a este, *Kophobelemnion stelliferum* forma colonias que no suelen superar los 40 centímetros de longitud. Entre las comunidades por ellos formadas se pueden encontrar otros pennatuláceos: *Pennatula aculeata*, *Virgularia mirabilis* e individuos del género *Protoptilum*. Estas comunidades de pennatuláceos están ampliamente distribuidas gracias al aplaceramiento del talud continental y a sus frecuentes fondos fangosos, que representan el sustrato idóneo para el asentamiento de estas comunidades.



Figura 6.10. (izquierda) *Radicipes fragilis*; (centro) Fangos batiales con *Radicipes* e *Isidella*; (derecha) *Isidella elongata*. Fotos: IEO/GEMAR.





**Figura 6.11.** (izquierda) *Kophobelemnon stelliferum*; (centro) *Pennatula aculeata*; (derecha) *Funiculina quadrangularis*.  
Fotos: IEO/GEMAR.

### Las esponjas

Las esponjas (filo Porifera) componen un grupo con más de 9.000 especies, que presentan una amplia distribución batimétrica y geográfica, localizándose ejemplares en regiones tan extremófilas y remotas como la Antártida o el océano Ártico, incluyendo las aguas continentales, con lo que se trata de un filo que soporta condiciones ecológicas muy diversas. En la actualidad, este filo comprende cuatro clases: (i) esponjas calcáreas (Clase Calcarea), constituidas por espículas de carbonato cálcico; (ii) esponjas cristal (Clase Hexactinellida), formadas por espículas silíceas; (iii) demosponjas (Clase Demospongiae), y (iv) recientemente, se ha reconocido otra clase de esponjas, Homoscleromorpha. Existen especies de hexactinélidas y demosponjas, que pueden adquirir tamaños y abundancias considerables, formando agregados de esponjas.

Estas comunidades favorecen un aumento en la complejidad de las redes tróficas, ya que proporcionan una buena área de alimentación para otras especies, aumentando la diversidad bentónica del área. La abundante fauna que puede rodear a este hábitat les puede convertir en buenas áreas de alimentación para peces. Poseen un importante papel como especies formadoras de hábitats.

Las agregaciones de esponjas de aguas profundas (“Deep-sea sponge aggregations”) son uno de los hábitats incluidos en el Convenio OSPAR como hábitats amenazados y/o en declive. Son muy sensibles al aumento de la turbidez en el agua, ya que puede llegar a obstruir el aparato filtrador de muchas de estas especies, provocando su muerte por asfixia. Teniendo en cuenta que estas especies suelen ser de crecimiento muy lento (en Canadá se han encontrado esponjas de más de 100 años de antigüedad), la regeneración tras una perturbación física puede durar décadas.

Las mayores áreas con agregaciones de esponjas de profundidad se han observado en todo el Atlántico norte. La presencia de estos hábitats en el mar Mediterráneo es algo más restringida (por su rango de temperatura entre los 4 y 10 grados centígrados), aunque se han observado grandes esponjas hexactinélidas en zonas del mar de Alborán. Las principales esponjas asociadas a fondos duros localizadas en el LIC, y que pueden formar áreas de agregaciones de esponjas, son entre otras: *Asconema setubalense*, *Petrosia crassa*, *Haliclona* (Soestella) *mucosa*, *Phakellia ventilabrum*, *Pachastrella sp.* y *Geodia sp.* Estas comunidades favorecen un aumento en la complejidad de las redes tróficas, ya que proporcionan una buena área de alimentación para otras especies, aumentando así la diversidad bentónica del área.

También existe una buena representación de esponjas entre la amplia distribución de fondos fangosos o arenoso-fangoso de las áreas adyacentes a los distintos volcanes de fango. Para esponjas como *Pheronema carpenteri* y/o *Thenea muricata* estos fangos batiales, junto a un moderado hidrodinamismo, representan las condiciones óptimas para su asentamiento.

Como curiosidad, existe explotación de algunas especies de esponjas con el fin de obtener compuestos químicos para uso medicinal, como anticancerígenos.

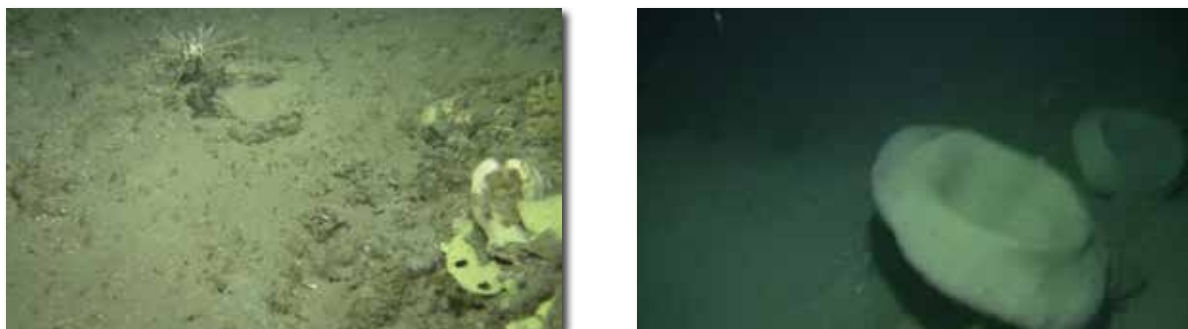
La presencia de las esponjas (filo Porifera) sobre los sustratos duros, así como en los fondos sedimentarios blandos es notable. Tanto su diversidad como la biomasa localizada en algunas zonas son las dominantes frente a otras especies. *Pheronema carpenteri* es una esponja hexactinélida con largas espículas basales que le permiten anclarse al sustrato fangoso, pudiendo formar grandes agregaciones con alta densidad de individuos, presentando una alimentación suspensívora. *Thenea muricata* es una demosponja de pequeño tamaño, propia de fondos blandos, que aparece en un rango batimétrico muy amplio. Su distribución geográfica se concentra a ambos lados del Atlántico norte. Se trata de una especie estructural que posee un importante papel en la biodeposición de partículas orgánicas de

pequeño tamaño y que sirven de alimento a invertebrados depositívoros. Las agregaciones de esponjas con dominancia de *P. carpenteri*, localizadas fundamentalmente en la zona profunda del LIC, pueden aparecer asociadas a *Thenea muricata*. En cambio, los campos de esponjas con dominancia de *Thenea muricata* aparecen tanto en la zona profunda como en la más somera; en esta última, este hábitat se caracteriza por aparecer asociado a un gran número de cnidarios pennatuláceos.

Las principales esponjas asociadas a fondos duros, y que puedan formar áreas de agregaciones de esponjas por su abundancia y/o biomasa, son: *Asconema setubalense*, *Petrosia (Petrosia) crassa*, *Haliclona (Soestella) mucosa*, *Phakellia ventilabrum*, *Pachastrella* sp y *Geodia* sp.



**Figura 6.12.** (izquierda) Fangos batiales con *Pheronema carpenteri*; (centro) Fibras de *Pheronema carpenteri*; (derecha) *Thenea muricata*. **Fotos:** IEO/GEMAR.



**Figura 6.13.** Imágenes submarinas obtenidas con el vehículo de observación remolcado (VOR), en los transectos sobre Chica. Se observan ejemplares de poríferos, como *Petrosia cf crassa* o *Asconema setubalense*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

### ...✦ Otros invertebrados (Anélidos, Equinodermos, Moluscos, Braquiópodos, Crustáceos)

Dentro de los anélidos (Annelida), se han identificado y catalogado numerosas especies de poliquetos (Clase Polychaeta) presentes en los volcanes de fango. De hecho, en las comunidades endofaunales los poliquetos son dominantes en número de especies (35 especies diferentes) y en número de individuos (el 37% del total encontrado en los muestreos). Sus formas de vida y estrategias alimenticias son muy diversas. Los poliquetos más singulares de los hallados son los que están ligados a los sedimentos cargados en gas procedentes de las emisiones de fluidos, como son los poliquetos pertenecientes al género *Siboglinum*. Estos poliquetos frenulados poseen un tejido especializado que contiene bacterias metanotróficas simbióticas intracelulares, a partir del cual los adultos obtienen la mayor parte de su nutrición, proporcionando al huésped carbono y energía. Aunque se han hallado en casi todos los volcanes de fango, conviene destacar el hecho de que las densidades de *Siboglinum sp.* han

sido muy altas en los volcanes Anastasya y Aveiro, así como en el complejo diapiro/volcán Hespérides.

Los pequeños poliquetos tubícolas suspensívoros del género *Spiochaetopterus* son típicos de los fangos batiales, así como el poliqueto hesiónido *Leocrates atlanticus*. Los poliquetos serpulidos, como *Vermiliopsis* o *Serpula*, colonizan sustratos duros de diferente tipología (ej.: brecha fangosa, escoria, carbonatos autigénicos). Otro poliqueto muy abundante es *Hyalinoecia tubicola*, que forma un tubo rígido transparente que utiliza como madriguera. En arrecifes de corales de aguas frías también tienen presencia los poliquetos *Eunice norvegica* en las colonias de *Madrepora oculata* y *Lumbrineris flabellicola* en individuos de *Flabellum chunii*, entre otras especies.

Dentro del grupo faunístico de los equinodermos, se incluyen especies como las conocidas estrellas de mar o los erizos y clases menos conocidas, como las holoturias, las ofiuras o los crinoideos. Se han identificado numerosas especies de los diferentes subfilos entre las comunidades demersales (15 especies), epifaunales (34 especies) o endofaunales (8 especies).



Figura 6.14. (izquierda) *Siboglinum sp.*; (derecha) *Eunice dubitatus*. Fotos: IEO/GEMAR.



Figura 6.15. (izquierda) *Lumbrineris flabellicola* en un ejemplar de *Flabellum chunii*; (derecha) *Leocrates atlanticus* (poliqueto hesiónido). Fotos: IEO/GEMAR.



**Figura 6.16.** (izquierda) *Leptometra phalangium*; (derecha) *Gracilechinus acutus*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

Los crinoideos del género *Leptometra* (*L. phalangium* y *L. celtica*), especialmente *L. phalangium*, es un importante componente de los hábitats conocidos como campos de crinoideos, dominando entre otras especies bentónicas. Estas comunidades se emplazan, mayoritariamente, en las laderas de los volcanes de fango Pipoca y Gazul y en los fondos adyacentes a este último, sobre sustratos blandos (generalmente arenas y gravas) o con algunos carbonatos autigénicos dispersos. Aunque se ha encontrado en aguas del golfo de Cádiz, esta especie es típica del mar Mediterráneo y, por tanto, sus poblaciones se establecen en zonas muy concretas del LIC. Existen numerosas especies asociadas a los campos de *Leptometra*, pero es reseñable la presencia de especies en elevadas densidades, casi exclusivamente en sus estadios larvarios o juveniles, como el caso de la merluza o la gamba blanca.

El filo de los equinodermos está bien representado en hábitats de roca batial dominadas por esponjas, con especies de crinoideos como la *Neocomatella europea*, que utiliza muchas de estas esponjas como base de anclaje para una mayor cobertura en la captación de alimentos. Entre los

erizos más abundantes registrados en estos hábitats destacan las especies *Cidaris cidaris*, *Gracilechinus acutus* o los asteroideos *Chaetaster longipes* e *Hymenodiscus coronata*. El erizo de mar *Cidaris cidaris* es un equinodermo muy común en la zona, y presenta una amplia distribución sobre los hábitats del LIC. Se han encontrado ejemplares asociados a las comunidades de pennatuláceos junto con otros equinodermos (ej.: *Hymenodiscus coronata*, *Peltaster placenta* y *Gracilechinus acutus*). También en comunidades de fangos compactos con coral bambú y acompañado de otros equinodermos (ej.: *Nymphaster arenatus* y *Odontaster mediterraneus*). De igual manera, son típicos de fangos batiales los equinodermos de los géneros *Brissopsis* y *Amphipholis*. Sin embargo, los equinodermos *Chaetaster longipes* y *Echinus melo* los encontramos en sustrato duro, asociados a arrecifes de corales profundos *Lophelia* y *Madrepora*. La estrella *Hacelia superba* es una especie tropical anfiatlántica que también está presente entre los volcanes de fango y que representa una nueva cita científica para el margen continental europeo. Las estrellas de mar están ampliamente distribuidas en las zonas profundas.



**Figura 6.17.** (de izquierda a derecha) Ejemplares de *Nymphaster arenatus*, *Hacelia superba*, *Odontaster mediterraneus*, *Peltaster placenta*. **Fotos:** IEO/GEMAR.



**Figura 6.18.** (izquierda) Vista dorsal de un ejemplar de *Solemya elarraichensis* en las galerías que excava en sedimentos anóxicos y ricos en brecha fangosa; (centro) Vista lateral de *Solemya elarraichensis*; (derecha) Vista lateral y ventral de *Acharax gadirae*.  
**Fotos:** IEO/GEMAR.

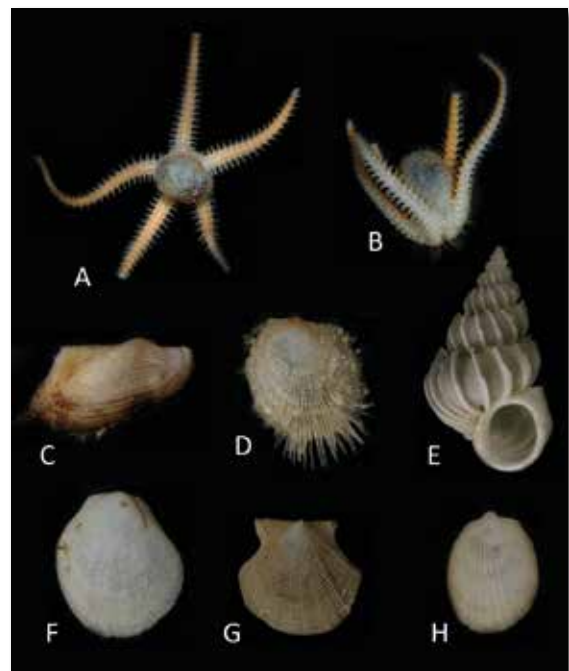
En el entorno de los volcanes de fango, se han encontrado numerosos ejemplares de ofiuras, en zonas como el diapiro Cristóbal Colón o los volcanes de fango San Petersburgo y Gazul (ej.: el género *Amphiura*). La comunidad de la zona adyacente al volcán Chica, y en el nivel sedimentario más superficial, está dominada por el ofiurido *Ophiomyces* sp. En sustratos duros y asociado a arrecifes de corales profundos y roca batial dominada por esponjas destaca el gran número de ejemplares del ofiuroideo *Ophiothrix fragilis*, que utiliza este tipo de sustrato para poder vivir.

Dentro del filo Mollusca se ha encontrado representación de ejemplares de las clases Bivalvia, Cephalopoda, Gastropoda, Polyplacophora, Scaphopoda y Solenogastres. En el caso de los moluscos bivalvos, se encontraron dos familias que están asociadas a brecha fangosa y emisiones de gases, como son Lucinidae (*Lucinoma asapheus*) y Solemyidae (*Solemya elarraichensis*, *Acharax gadirae*). Los ejemplares de estos bivalvos quimiosintéticos se encuentran solamente donde la concentración de gases es alta, que coincide con las cimas de volcanes de fango con mayor actividad de expulsión, como es el caso de Anastasya. Estos invertebrados con bacterias endosimbiontes presentan en la zona de los volcanes de fango las únicas poblaciones conocidas en aguas españolas.

En pisos fangosos batiales la presencia y variedad de moluscos es enorme. Dentro de los moluscos bivalvos se pueden citar, entre otros: *Abra longicallus*, *Kelliella miliaris*, *Parvicardium minimum*, *Cardiomya costellata*, *Cetomya neaeorides*, *Yoldiella philippiana*, *Thyasira succisa*, *Thyasira granulosa*, *Cuspidaria rostrata*, *Saccula commutata*, o *Delectopecten vitreus* sobre *Isidella elongata* o fibras de *Pheronema carpenteri* y *Bittium watsonii* asociadas a

comunidades de pennatuláceos. También encontramos numerosos gasterópodos, como las especies *Ranella olearium*, *Galeodea rugosa*, *Ampulla priamus*, *Colus gracilis*, *Alvania electa* o *Bittium watsoni*, entre otras.

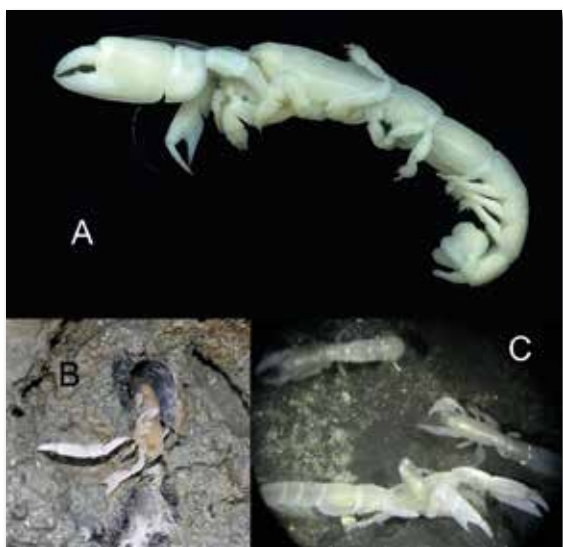
En la comunidad faunística asociada a arrecifes de corales profundos también está presente un gran número de moluscos bivalvos, como *Lima marioni*, *Asperarca nodulosa*, *Astarte sulcata* o gasterópodos como *Danilia tinei*. Se observaron especies de moluscos que se alimentan de cnidarios, como *Epitonium celesti* o *Epitonium algerianum*, o de esponjas, como *Emarginula* spp. Resaltar, dentro del filo de los moluscos, la presencia de especies que están directamente



**Figura 6.19.** Algunas de las especies de ofiuras, bivalvos y gasterópodos encontradas en muestras de box-corer recolectadas en la zona del volcán de fango Chica. A y B: Vista dorsal y lateral del ofiuroideo *Ophiomyces* sp.; C: *Asperarca nodulosa*; D: *Limopsis angusta*; E: *Epitonium celesti*; F: *Spondylus gussonii*; G: *Parvamussium fenestratum*; H: *Notolimea crassa*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

relacionadas con las gorgonias, pues se alimentan de los pólipos de éstas, como son el solenogastro *Anamenia gorgonophila* o los gasterópodos del género *Simnia*. Por otra parte, se ha observado la presencia de poliplacóforos que viven en los ósculos de determinadas desmoesponjas.

Los moluscos cefalópodos son uno de los principales grupos capturados por la flota arrastrera. Aunque la mayoría de los caladeros de estas especies se localizan fuera del LIC, se producen capturas también en esta área por ser especies acompañantes de la especie objetivo de la flota arrastrera. Los calamares, puntillitas y potas, especies pertenecientes a la familia *Loliginidae* y *Ommastrephidae*, presentan una amplia distribución batimétrica. Otro de los grupos más importantes es el de pulpos, con especies muy variadas, y que se agrupan en los llamados pulpos de roca (*Octopus vulgaris*), de aguas someras, y los pulpos de mayor profundidad, los llamados pulpos cabezones (*Eledone moschata* y *Eledone cirrhosa*), que se capturan en rangos batimétricos que oscilan entre los 50 y 300 metros. En el grupo de sepias es conveniente diferenciar las especies más importantes: (1) el choco (*Sepia officinalis*) y (2) la almendrita (*Sepia elegans*, *Sepia orbygniana*). Los braquiópodos *Novocrania anomala* o *Gryphus vitreus* han sido localizados asociados a diferentes comunidades: los campos de crinoideos, comunidades de gorgonias, etc.



**Figura 6.20.** a) Vista general de *Calliax* sp. b) espécimen abandonando su galería y c) grupo de tres individuos recién recolectados en la cima de Anastasya y vistos bajo la lupa binocular. **Fotos:** IEO/GEMAR.

Dentro del grupo de los crustáceos se han registrado numerosas especies propias de fondos fangosos (megafauna excavadora), como decápodos talasínidos, o la especie comercial emblemática de la zona que es la cigala (*Nephrops norvegicus*), distintas especies del género *Munida*, destacando la especie *Munida intermedia* y *Goneplax rhomboides* (ambas en el campo somero) y, por otro lado, *Nephropsis atlantica* (en el campo profundo). Otros crustáceos hallados en estos tipos de hábitats son *Calappa granulata*, *Stereomastis sculpta* o diferentes especies de pagúridos (siendo el más común *Pagurus alatus*), entre otras especies. *Geryon longipes* aparece ligado a sustrato rocoso con corales negros. Comercialmente, también destaca la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*).

En los fangos anóxicos cargados de gas de las cimas de volcanes activos es donde excava sus galerías el decápodo *Calliax* sp. Este género siempre se vincula, por su metabolismo quimiosimbionte, a sedimentos cargados en gas.

### ...❖ Peces

Las especies ícticas presentan zonas de alta diversidad y abundancia en el volcán Gazul, principalmente, y en las áreas de Tarsis y Pipoca, así como en el complejo diapiro/volcán Chica, coincidiendo con la heterogeneidad de hábitats allí presentes. Por el contrario, las zonas de baja diversidad de especies ícticas se encuentran en la zona del volcán Anastasya y los volcanes de fango del campo profundo.

En la zona más somera y cercana al borde de la plataforma de los volcanes de fango, abundan especies ícticas demersales de interés comercial, siendo objetivo de la flota arrastrera, como la bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), la merluza (*Merluccius merluccius*) y diferentes especies de rapés (*Lophius* spp.). Otras, que son capturadas como especies acompañantes, como el olayo o bocanegra (*Galeus melastomus*), la gallineta (*Helycolenus dactylopterus*), la quimera (*Chimaera monstrosa*), el cazón (*Etmopterus spinax*) y el granadero (*Nezumia aequalis*), entre otras, siendo muchas de ellas indicadoras de zonas de alta productividad. En la zona de los volcanes más profundos, situados a más de 600 metros de profundidad, se han encontrado

elasmobranquios de gran tamaño, como son *Centrophorus granulosus* o *Dalatias licha*, entre otras especies, y que se caracterizan por presentar una baja abundancia. Estas

especies son particularmente vulnerables a la sobreexplotación pesquera y están incluidas en diferentes convenios internacionales para su protección.



**Figura 6.21.** Algunas de las especies dominantes de la megafauna bentónico-demersal del campo de volcanes de fango:

Crustáceos:

- A) *Pasiphaea sivado*;
- B) *Plesionika martia*;
- C) *Parapenaeus longirostris*;
- D) *Nephrops norvegicus*;
- E) *Aristeomorpha foliacea*;
- F) *Chlorotoccus crassicornis*;

Especies Ícticas:

- G) *Galeus atlanticus*;
- H) *Chimaera monstrosa*;
- I) *Merluccius merluccius*;
- J) *Nezumia aequalis*;
- K) *Micromesistius poutassou*;
- L) *Lophius budegassa*;
- M) *Helicolenus dactylopterus*.

Fotos: IEO/GEMAR.





# 7 La visible huella humana

La pesca comercial es la actividad antropogénica más relevante en el LIC “Volcanes de fango del Golfo de Cádiz” tanto desde el punto de vista socioeconómico como por su impacto sobre el medio marino. La modalidad de pesca de arrastre de fondo es la que provoca la mayor perturbación en el ecosistema bentónico y en los depósitos sedimentarios superficiales. Hay que tener en cuenta que el arte de arrastre es un sistema fuertemente abrasivo e invasivo. No es un arte de carácter selectivo, lo que lo convierte en un mecanismo de presión, no sólo sobre las especies objetivo de cada pesquería, sino también sobre las especies acompañantes.

La acción del hombre puede provocar daños en la fauna marina por medio de muchas otras actividades. Algunas de ellas ocurren en la

actualidad de manera lenta, pero progresiva, mientras otras se consideran amenazas potenciales, pero con gran peligro de causar daños irreversibles. Se pueden citar las más destacadas, como el tráfico marítimo, los vertidos de residuos desde buques en tránsito, la contaminación procedente de las actividades desarrolladas en tierra, la extracción de recursos minerales, las infraestructuras submarinas y obras de ingeniería, las actividades relacionadas con las estrategias de defensa nacional, el cambio climático, etc.

De todas las actividades consideradas, la que está ejerciendo una mayor presión es la pesquería practicada con artes de arrastre de fondo. La consecuencia física más inmediata de esta práctica es la intensa alteración de la



**Figura 7.1.** Imágenes submarinas de marcas provocadas por el paso de barcos que faenan mediante la modalidad de arrastre de fondo en áreas cercanas al volcán Anastasya. **Foto:** IEO/GEMAR.

## DEFINICIONES

- **Marea pesquera:** tiempo transcurrido por un determinado buque pesquero desde su salida de puerto hasta su regreso.
- **Esfuerzo pesquero:** el gasto de materiales y tiempo que ejerce un buque pesquero para realizar sus capturas.
- **Epibentónicas:** conjunto de especies bentónicas que viven vinculadas al fondo marino. (Ver Epifauna en las definiciones del capítulo anterior).
- **Batipelágica:** en biología marina, se describe así a un determinado ambiente que identifica a las aguas y fondos marinos situados entre 1.000 y 4.000 metros de profundidad. Esta región se caracteriza por una presión hidrostática elevada.

**Página anterior:** Fragmentos de chimeneas carbonatadas dispersas sobre el fondo marino. Se observa el conducto central de emisión del gas. **Foto:** IEO - GEMAR.

superficie del fondo marino y/o la destrucción directa del hábitat que sobre él se desarrolla. No es menor el efecto destructivo que causa sobre los organismos vivos al alterar o desaparecer el hábitat que ocupan. Uno de los efectos más perniciosos y silenciosos es la resuspensión del sedimento que se produce al paso de los artes, provocando un incremento de la turbidez que es letal para muchas especies pero que, además, altera la distribución natural de los depósitos. Finalmente, es un hecho probado que el uso de este tipo de artes produce un empobrecimiento del ecosistema, provocando cambios en la estructura y composición de los hábitats, y afectando, por tanto, a la productividad pesquera a largo plazo.

Dado que el arte actúa directamente sobre el fondo marino, en contacto directo con él, se comporta como si fuera un arado que removiera la tierra a su paso, destruyendo casi completamente la vida epibentónica<sup>def</sup>. Particularmente grave resulta la destrucción de los tapetes bacterianos desarrollados sobre los fangos que recubren los focos de emisión de gas. La desaparición de estos tapetes que consumen el metano, que en su proceso de

ascenso en el interior de los sedimentos alcanza la superficie del fondo, es un riesgo añadido al incrementar el aporte de gases invernadero en la atmósfera. Hay que considerar que los tapetes bacterianos en superficie representan el último biofiltro natural del que dispone el fondo marino para evitar que el metano alcance la atmósfera.

### La pesca de arrastre de fondo como principal amenaza para la biodiversidad

La datos proporcionados por la Secretaría General de Pesca (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) han sido esenciales para conocer tanto la distribución espacial como temporal del esfuerzo pesquero<sup>def</sup> que realiza la flota en los distintos caladeros del golfo de Cádiz y, en particular, aquella que faena en la zona más somera, donde se localiza el mayor número de volcanes de fango. Hay que tener en cuenta que el sector pesquero de Andalucía representa una actividad muy importante en términos socioeconómicos y más, particularmente, la pesca de arrastre de

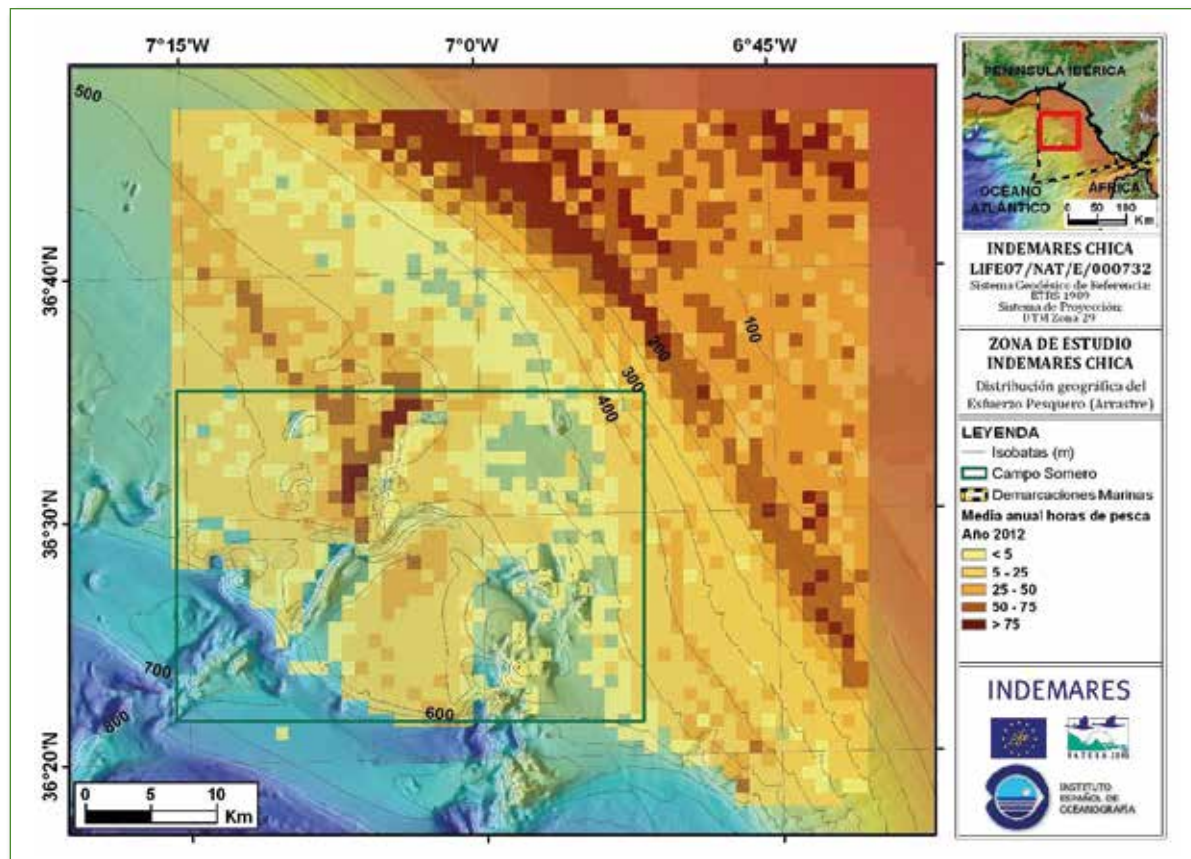
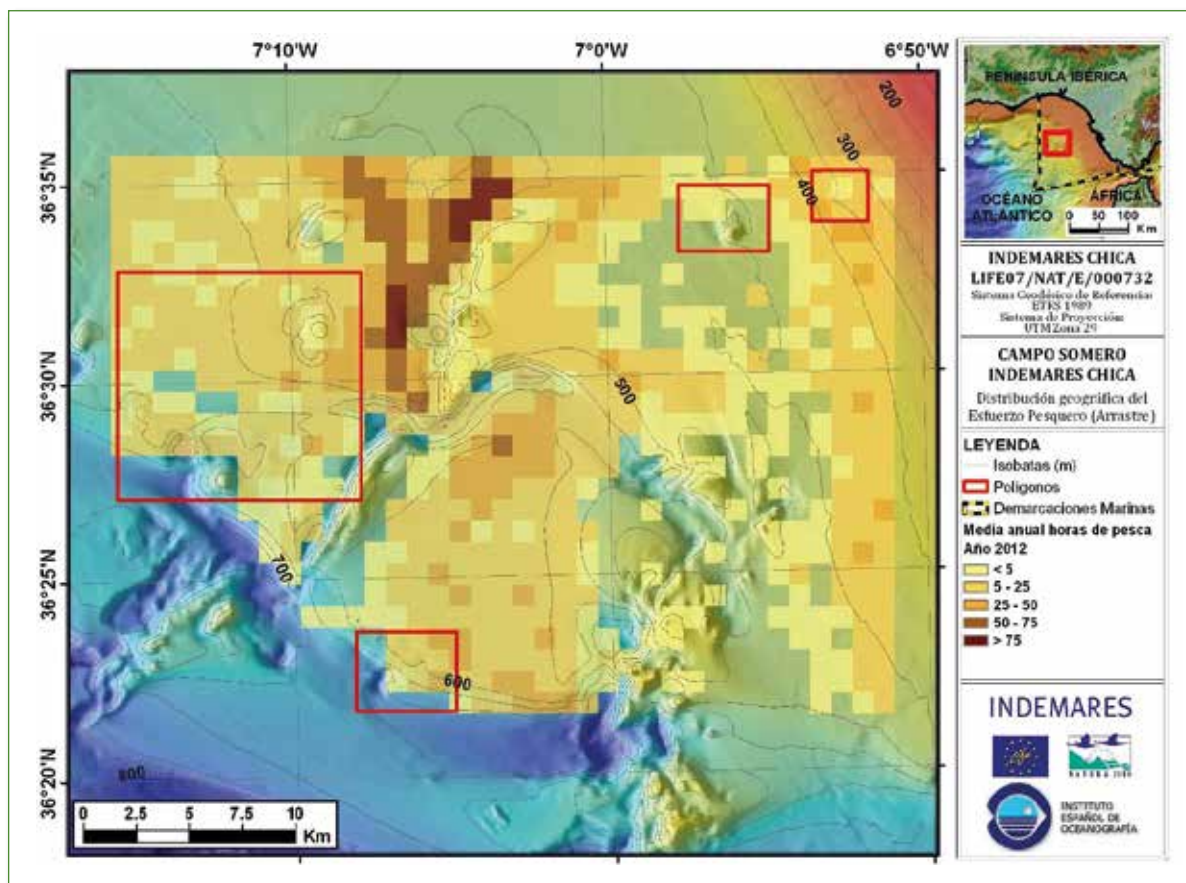


Figura 7.2. Distribución espacial, con un tamaño de malla de 1 km<sup>2</sup>, del esfuerzo pesquero de la flota de arrastre (media anual de horas de pesca) que faena en la zona analizada para el año 2012. Fuente: IEO - GEMAR.



**Figura 7.3.** Distribución espacial, con un tamaño de malla de 1 km<sup>2</sup>, del esfuerzo pesquero de la flota de arrastre (media anual de horas de pesca) que faena en el campo somero para el año 2012. **Fuente:** IEO - GEMAR.

fondo, cuyas capturas se dirigen a especies de valor comercial muy alto. En este apartado se describen los resultados del análisis de las capturas realizado con los datos de la serie histórica comprendida entre los años 2006 y 2012, facilitados por la precitada Secretaría.

La distribución geográfica del esfuerzo pesquero se extiende por todo el golfo de Cádiz. Sin embargo, existe una mayor concentración de la presión pesquera en áreas someras, muy próximas a costa. Esta presión va disminuyendo, tanto en horas de pesca como en número de embarcaciones, a medida que nos alejamos de la costa, de manera que en la zona meridional del LIC la actividad pesquera es casi inexistente. Por tanto, este texto se centra en el análisis de la zona norte del LIC, el que se ha denominado campo somero.

En la Figura 7.2 se observa que el esfuerzo pesquero se concentra sobre la plataforma continental en profundidades menores a 400 metros, puesto que es donde se localizan los principales caladeros de especies con alto valor económico, como la cigala, la

gamba, la merluza, el rape, la bacaladilla y moluscos cefalópodos, entre otras numerosas especies. Por el contrario, en el campo somero, cuya delimitación se puede ver en la Figura 8.2, la actividad pesquera disminuye considerablemente (Figura 7.3), centrándose el esfuerzo en las zonas productivas de cigala: áreas adyacentes a Anastasya, áreas cercanas a la dorsal de Guadalquivir y, en menor medida, en la zona central del campo. Este hecho se debe al intento de los buques de evitar áreas donde la naturaleza de los fondos y/o el fuerte hidrodinamismo dificulta la pesca y donde peligran los artes de pesca. Este problema ocurre en lugares como el volcán Gazul y áreas adyacentes al volcán Tarsis y Pipoca, entre otros, ya sea bien por la presencia de sustratos rocosos, o bien por la de fondos excesivamente fangosos (producen los enfangues tan temidos por los pescadores) o por la existencia de intensas corrientes (canal de Huelva).

Por otra parte, se ha realizado un análisis exhaustivo de la flota que opera en el campo somero y sobre los volcanes de fango Albolote, Gazul, el triángulo formado por Anastasya/

Pipoca/Tarsis y Chica (se pueden apreciar los polígonos envolventes de estas zonas en la Figura 7.3).

La flota arrastrera es la segunda en importancia, en cuanto a número de embarcaciones (más de 100), en el golfo de Cádiz. Hay que destacar que el número de pesqueros faenando en el campo somero disminuye considerablemente, ya que debido a su lejanía de costa, la flota equipada técnicamente para faenar en lugares tan alejados y a grandes profundidades (más de 400 metros) es mucho menor que la que trabaja en las áreas de menor profundidad. Además, aquellas embarcaciones que faenan en el campo somero del LIC, principalmente la flota onubense, invierten excesivos recursos en llegar a dicha área de pesca, por lo que muchas veces no les compensa en relación a las capturas obtenidas.

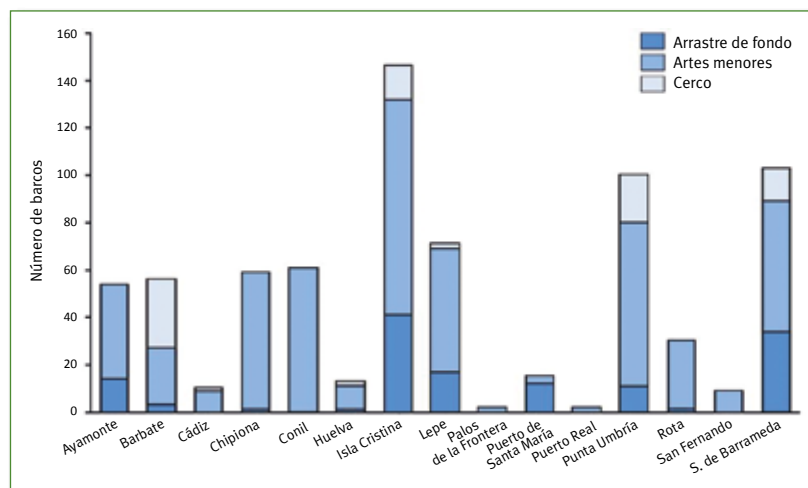
En la Figura 7.4 se representa gráficamente el número de buques que conforma cada tipo de flota de todos los puertos atlánticos andaluces tanto de la flota arrastrera como de la flota con modalidad de artes menores.

Los puertos base más importantes de flota arrastrera de la costa atlántica andaluza que se tuvieron en consideración para el estudio son los siguientes: Isla Cristina, Punta Umbría, Huelva, Lepe, Sanlúcar de Barrameda, Ayamonte, El Puerto de Santa María, Barbate, Chipiona y Rota. Se ha observado la existencia de una estrecha relación entre el número de días de pesca en el campo somero (para muchos buques demasiado lejano a costa y demasiado profundo) y las características técnicas de los distintos buques que faenan en aquella zona. En

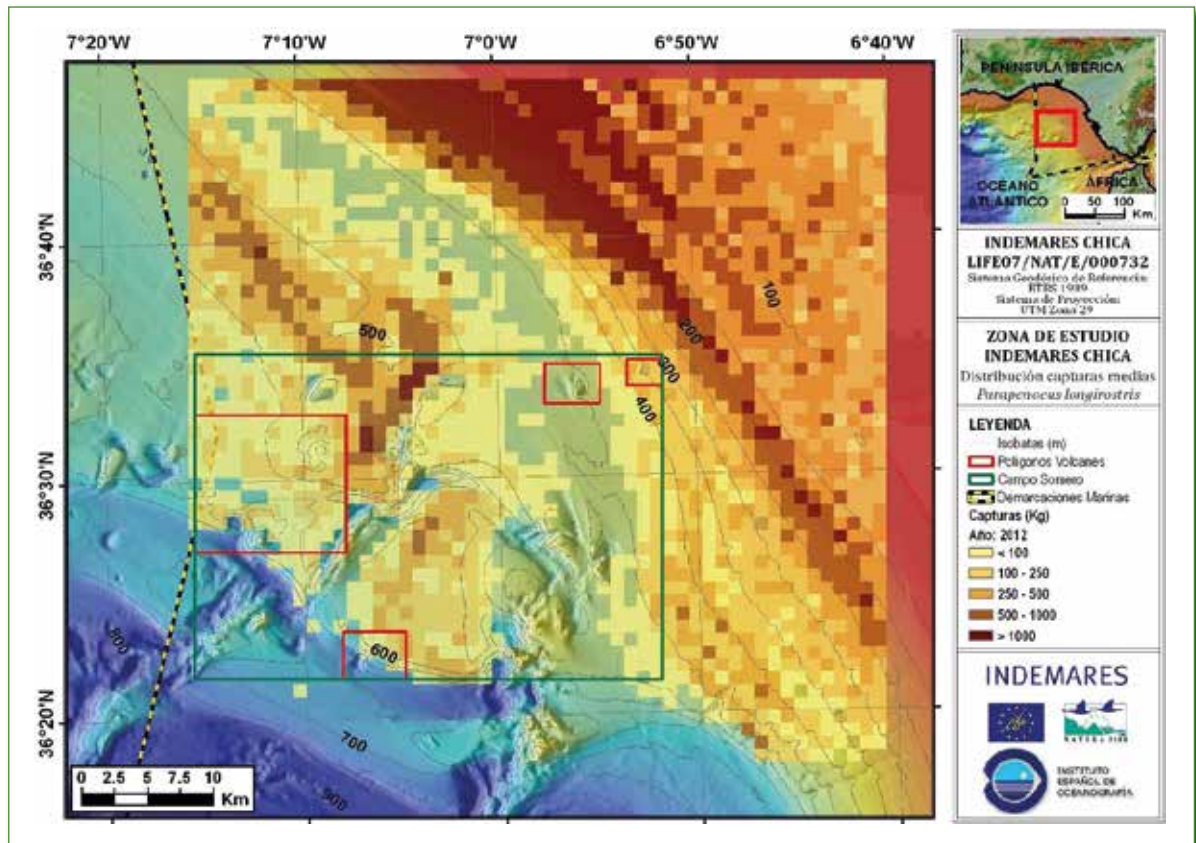
consecuencia, se puede decir que, en términos generales, los buques con mayor potencia (superior a 240 CV) son los que han realizado el mayor número de mareas<sup>def</sup>. En este mismo sentido, se hace evidente que existe un elevado número de barcos que no están capacitados para realizar su actividad pesquera en la zona del talud, en aguas distantes de la costa. De esta forma, su esfuerzo pesquero se centra tanto en las zonas más someras de la plataforma como en los caladeros más próximos al puerto base. El puerto de Isla Cristina es el que presenta un mayor número de embarcaciones de la flota arrastrera (30% sobre el total) y con mejores características técnicas para realizar su actividad pesquera en los lugares más alejados de costa, faenando gran número de ellos en el interior del LIC.

Las principales especies objetivo de la flota son la merluza (*Merluccius merluccius*), la bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), el rape (*Lophius spp.*), la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*) y la cigala (*Nephrops norvegicus*). A continuación, se realiza una breve descripción de la pesquería, por especies objetivo, con el fin de ofrecer el retrato robot de esta actividad en un espacio con gran interés natural.

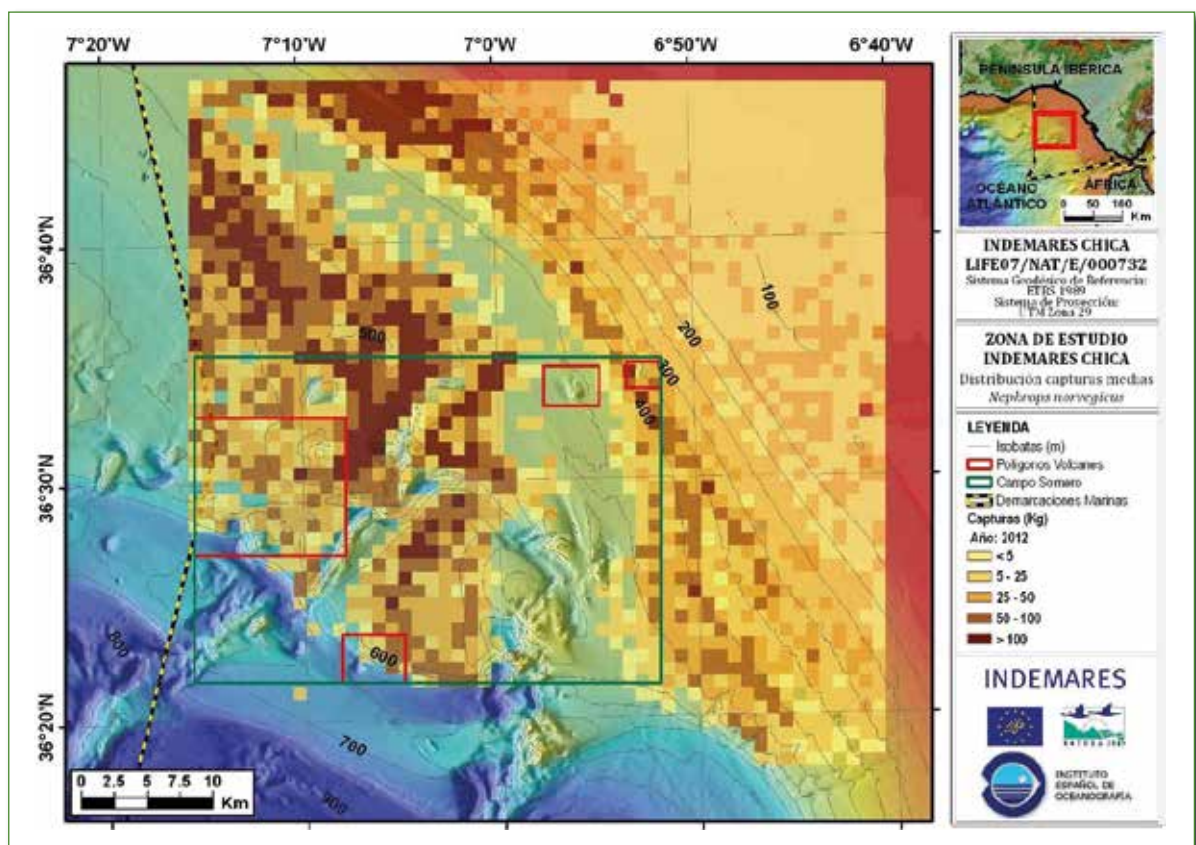
**Gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*).** Presenta una amplia distribución espacial en el golfo de Cádiz, localizándose sobre fondos compuestos por arenas fangosas ubicados en un área que comprende desde la localidad de Ayamonte hasta la altura de la bahía de Cádiz. Posee una extensa distribución batimétrica, que abarca entre los 90 y los 700 metros de profundidad, aunque las mayores capturas se localizan entre los 150 y 400 metros de profundidad (Figura 7.5). Es una especie objetivo para la flota arrastrera en exclusiva y constituye la principal especie de interés pesquero en el golfo de Cádiz tanto por su alto valor en el mercado como por el volumen de sus capturas. Sirva como ejemplo el dato del volumen capturado en el periodo 2009-2012 en el campo somero, que representa un promedio de más del 6% sobre el total capturado.



**Figura 7.4.** Número de barcos pesqueros por puerto base y por modalidad de arte. Fuente: Censo de la Flota Pesquera Operativa a 31 de diciembre de 2012.



**Figura 7.5.** Distribución espacial, con un tamaño de malla de 1 km<sup>2</sup>, de las capturas (kg) de *Parapenaeus longirostris*, realizadas por la actividad pesquera de la flota arrastrera (año 2012). **Fuente:** IEO - GEMAR.



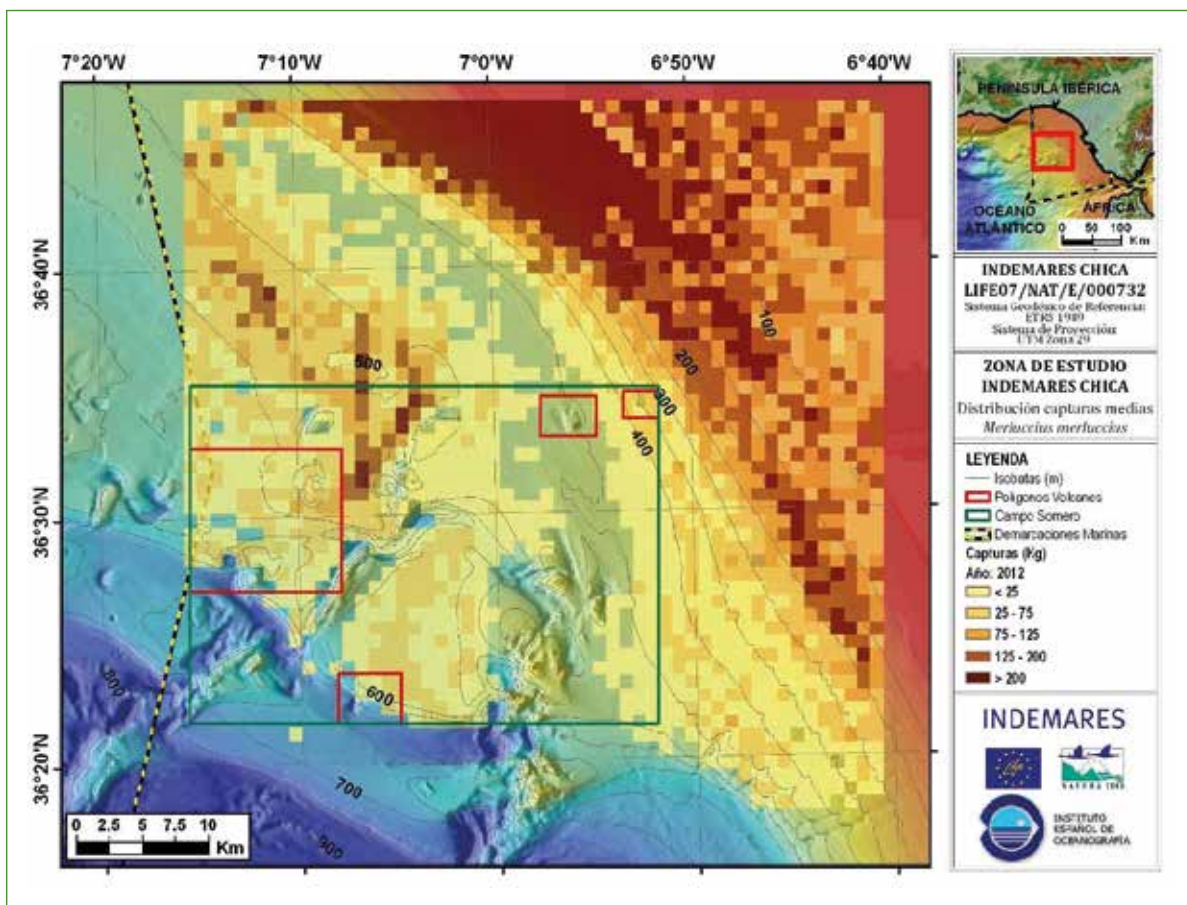
**Figura 7.6.** Distribución espacial, con un tamaño de malla de 1 km<sup>2</sup>, de las capturas (kg) de *Nephrops norvegicus*, realizadas por la actividad pesquera de la flota arrastrera en la zona de estudio para el año 2012. **Fuente:** IEO - GEMAR.

**Cigala** (*Nephrops norvegicus*). Esta especie se localiza sobre sustratos fangosos estables, necesarios para la construcción de sus madrigueras, normalmente entre los 200 y los 600 metros de profundidad. La captura de esta especie se realiza a través de la flota arrastrera en una pesquería mixta, junto con la gamba, debido a que gran parte de los caladeros de estas dos especies se solapan. Su captura no representa un elevado porcentaje en peso, pero sí es importante en cuanto a valor económico en el mercado.

El 91% de la captura de cigala, como promedio, en los últimos 4 años se concentra a partir de los 300 metros de profundidad. El grueso de la pesquería de la cigala se localiza en esta zona de estudio, pues en ella se ubican prácticamente todos los caladeros de la especie. En la Figura 7.6 se observa que la pesca de cigala alrededor de los volcanes de fango no es relevante, a excepción del sector noreste del volcán de fango Anastasya, centrándose la presión pesquera dentro del campo somero a ambos lados de la dorsal de Guadalquivir.

**Bacaladilla** (*Micromesistius poutassou*). La bacaladilla es una especie batipelágica<sup>def</sup> que ocupa un amplio rango de profundidad, aunque las mayores concentraciones se localizan entre los 150 y los 400 metros. Presenta una amplia distribución en toda el área del golfo de Cádiz y es capturada, únicamente, por la flota de arrastre, aunque su valor económico no es elevado. Analizada la pesquería con detalle, destaca que el 75% de las capturas se centra en los caladeros cercanos a la zona somera del LIC, pero tan sólo representa el 10% de lo capturado en su interior. En esta zona, la bacaladilla suele ser una especie acompañante de la pesquería que dirige su actividad a la captura de la cigala.

**Merluza** (*Merluccius merluccius*). La merluza es una especie demersal que presenta una amplia distribución en el golfo de Cádiz, localizándose entre la zona más somera de la plataforma continental hasta una profundidad de unos 500 metros sobre el talud continental. Esta especie se captura, casi exclusivamente, por la flota arrastrera. La merluza constituye otra de las especies, tanto a nivel económico como por



**Figura 7.7.** Distribución espacial, con un tamaño de malla de 1 km<sup>2</sup>, de las capturas (kg) de *Merluccius merluccius*, realizadas por la actividad pesquera de la flota arrastrera en la zona de estudio para el año 2012. **Fuente:** IEO - GEMAR.



**Figura 7.8.** (Izquierda) Red de arrastre abandonada. Bloque de hormigón abandonado procedente de un palangre. Sedales de palangres abandonados enganchados en *Lophelia pertusa*.

**Fotos:** (GEMAR-IEO). (Centro, cortesía de MARUM). (Derecha, cortesía de MARUM).

el volumen de sus capturas, más importantes de la flota arrastrera del golfo de Cádiz. Estas áreas de pesca suelen coincidir en el espacio con otros caladeros de especies de alto valor económico, como es el caso de la cigala y la gamba, y de moluscos cefalópodos, entre otras. Las capturas de merluza en el campo somero no son significativas, por lo que se convierte en otra de las especies acompañantes de la flota (Figura 7.7).

**Rape** (*Lophius spp.*). Bajo esta denominación se incluyen las distintas especies de rape que se encuentran en el golfo de Cádiz (*Lophius piscatorius*, *Lophius budegassa* y *Lophius sp.*). Se trata de especies demersales que se distribuyen en un amplio rango batimétrico a lo largo de la plataforma y del talud continental superior. No suele ser una especie objetivo de la flota pesquera, por lo que las capturas las realiza, casi exclusivamente, la flota arrastrera. La distribución geográfica de las capturas refleja que los mayores rendimientos se producen en los caladeros localizados al este del LIC.

Debido al carácter multiespecífico de la flota arrastrera, existe una alta variedad de especies acompañantes que constituyen una parte importante de las capturas: elasmobranquios (tiburones, rayas), otros peces (brótolas, gallinetas y especies de osteíctios), cefalópodos (calamares, puntillitas, potas, pulpos, sepías) u otros crustáceos (galeras, langostinos peneidos, camarones, gamba roja, carabineros, bogavante, langostas).

Uno de los efectos negativos de la actividad pesquera en la zona es la sobreexplotación de la población de las diferentes especies comerciales. Se ha comprobado que actualmente todos los stocks muestran evidencia de sobrepesca, como es el caso de la merluza, la bacaladilla o la cigala. Otro efecto indirecto y de menor impacto es el abandono de restos de artes de pesca, evidencia que ha sido

constatada mediante la captura de imágenes submarinas (Fig. 7.8). La consecuencia directa de la pérdida de aparejos es que siguen atrapando toda clase de especies, lo que se conoce como pesca fantasma.

### Otras actividades humanas que dejan huella

El vertido de basuras (plástico, latas, bidones de gasolina, envases de cristal, etc.) al medio marino ejerce serios efectos sobre los distintos hábitats.

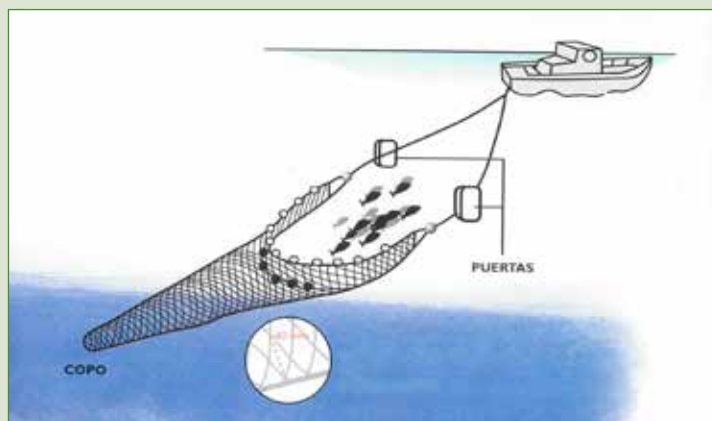
Sobre los fondos marinos cubiertos por el LIC discurren importantes rutas de navegación, debido a su cercanía al estrecho de Gibraltar y al cabo de San Vicente. Es una ruta que tiene una elevada intensidad de tráfico de embarcaciones de gran tonelaje que transportan principalmente petróleo y contenedores. El tráfico marítimo es fuente de una importante contaminación tanto por los derrames accidentales de la carga de los buques como por el intenso ruido que generan. Los efectos ambientales derivados de un accidente o colisión de buques pueden ser graves, resultando de alto riesgo en el supuesto de que se vean afectados buques que transporten sustancias tóxicas o altamente contaminantes.

Dentro del LIC no existen, en la actualidad, concesiones para la explotación de hidrocarburos. Sin embargo, en las inmediaciones de la zona diversas compañías han llevado a cabo prospecciones exploratorias de recursos energéticos que han podido tener algún afecto sobre los hábitats que ahora se pretende proteger. Existe una creciente inquietud ambiental en la sociedad por las consecuencias que los sondeos exploratorios (estudios sísmicos, perforación en zonas de exploración y pozos de evaluación) puedan

## Artes de pesca

### Arrastre de Fondo

El sistema de arrastre es un arte de pesca activo, es decir, su forma de trabajo consiste en capturar peces mediante el arrastre de una red, sin que se enmallen. El tipo de arte de arrastre de fondo va dirigido a las especies que se encuentran en el medio bentónico o demersal (sobre el fondo o con gran dependencia del mismo).



Esquema simplificado de los componentes del arte de arrastre de fondo.

En principio, las redes de arrastre son redes de malla que se arrastran por el fondo para capturar, de una manera no selectiva, diferentes especies objetivo que se cruzan en su camino. Durante el arrastre, las puertas mantienen abierta lateralmente la red, mientras que la abertura vertical se mantiene gracias a una línea de pesos que están sujetos en la parte inferior de la red (relinga inferior). La flotación de la parte superior se mantiene con una línea de flotadores sujeta a la relinga.

Los arrastres se realizan exclusivamente sobre el fondo marino, lugar por el que se remolca el arte durante un período de tiempo variable (tiempo de arrastre) y a lo largo de una línea cuya distancia es también variable. Una vez finalizada la línea de arrastre, se recupera el arte para extraer la captura y volverlo a largar para efectuar otro arrastre. La red puede remolcarse por la popa en el caso de los buques con rampa, ramperos, o por el costado, calando e izando el arte por la popa y/o costado. Los arrastreros del golfo de Cádiz capturan una gran variedad de especies, como son la merluza, el rape y varias especies de crustáceos o cefalópodos.

**Fuente de los dibujos:** "Guía de recursos pesqueros de la Provincia de Alicante". 2002.  
Edita: Confederación Empresarial de la Provincia de Alicante (COEPA), 73 páginas.





**Figura 7.9.** Imágenes submarinas de residuos sólidos localizados entre los volcanes de fango. **Fotos:** IEO/GEMAR.

tener sobre las comunidades marinas y los hábitats, cabiendo la sospecha de que puedan afectar a una amplia gama de especies marinas, sobre todo a las de vida pelágica y, más particularmente, a los cetáceos. Por otra parte, la instalación de las estructuras de prospección o explotación, fijas o ancladas al fondo marino, tienden a afectar muy negativamente a las comunidades marinas en el lugar de la instalación. La hipotética utilización del gas metano subsuperficial como recurso energético podría influir drásticamente en la desaparición

de aquellas comunidades cuyo metabolismo se basa en la obtención de energía a partir de los escapes de fluidos saturados en gases hidrocarburos.

Otro de los riesgos identificados para los hábitats y ecosistemas catalogados en la zona es el tendido de nuevos cables submarinos o el abandono de otros que han caído en desuso (Figura 7.10). Estas instalaciones pueden provocar daños físicos en los organismos coloniales sésiles. Otras obras de ingeniería, como son la colocación de tuberías (gaseoductos, oleoductos) o la construcción de túneles, son peligros potenciales para la estabilidad y supervivencia de los hábitats.



**Figura 7.10.** Imágenes submarinas de cable submarino localizado entre los volcanes de fango. **Foto:** IEO/GEMAR.

Por último, algunas comunidades faunísticas que ocupan estos hábitats son muy sensibles a los cambios climáticos, principalmente al aumento de la temperatura de las masas de agua que circulan próximas al fondo marino, lo que puede provocar una regresión de algunas especies. Además, el aumento de  $\text{CO}_2$  de origen antropogénico provoca cambios químicos en el agua (acidificación de los océanos) a lo que también son muy sensibles algunas especies de cnidarios.



# 8 Un excepcional mosaico de hábitats

En los volcanes de fango del golfo de Cádiz existen unas peculiares condiciones ambientales que establecen una clara diferencia con respecto a las existentes en el resto del margen continental ibérico. La rareza y fragilidad de sus hábitats son de una extraordinaria relevancia ecológica y científica. Sin embargo, algunas de sus características se tornan en claras amenazas para su propia persistencia, como son su vulnerabilidad y su lento crecimiento. Por lo tanto, se hace necesario investigar con mayor profundidad estas especies y comunidades faunísticas, con el fin de conocer su conectividad y dependencia, explorar su naturalidad y su estado de conservación, y divulgar la importancia que tiene su protección tanto de las especies como de los hábitats amenazados o en riesgo de extinción.

En el contexto del proyecto LIFE+ INDEMARES, se han identificado y catalogado un total de 26 tipos de hábitats, todos ellos correspondientes al nivel batial, siguiendo los criterios especificados en la Directiva Hábitats. De los 26 hábitats catalogados, 5 de ellos están ligados al Hábitat 1180 “Estructuras submarinas producidas por el escape de gases”; 8 hábitats

están ligados al Hábitat 1170 “Arrecifes” de la Directiva Hábitats; 6 hábitats están ligados a la propuesta que España está realizando sobre “Hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios”, con el fin de que sea incluido en la Directiva Hábitats, y, por último, 7 hábitats que no tienen vinculación alguna con dicha directiva.

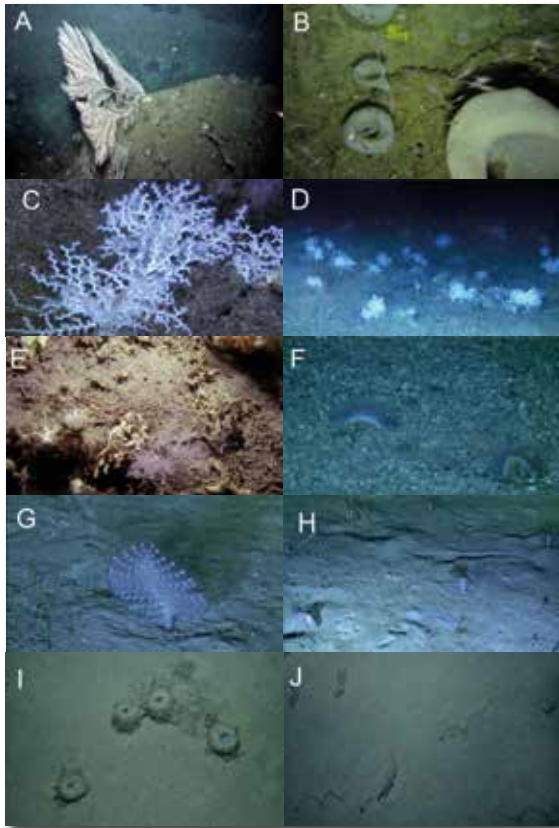
## Hábitat 1180

El Hábitat 1180, denominado “Estructuras submarinas producidas por el escape de gases” (*Submarine structures made by leaking gases*) presenta la siguiente tipología: (1) Volcán de fango, (2) Depresiones de colapso, (3) Pockmarks, (4) Estructuras producidas por escape de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético y (5) Estructuras producidas por escape de gases con especies quimiosintéticas.

Su rareza radica, principalmente, en la presencia de consorcios microbianos compuestos por archaeas y bacterias. La importancia de estas colonias de microorganismos reside

### DEFINICIONES

- **Simbiosis:** asociación de individuos animales o vegetales de diferentes especies, sobre todo si los simbiontes sacan provecho de la vida en común.
- **Simbionte:** individuo asociado en simbiosis.
- **Quimiosintético:** son aquellos organismos capaces de sintetizar moléculas de materia orgánica a partir de moléculas inorgánicas simples, usando como fuente de energía la oxidación de compuestos inorgánicos.
- **Quimiosimbionte:** son aquellos organismos quimiosintéticos que realizan simbiosis con organismos de otras especies.
- **Autigénesis:** proceso de formación de una roca sedimentaria compacta a partir de sedimentos sueltos y que ha implicado la formación de minerales en su seno.
- **ROV:** acrónimo del inglés Remote Operated Vehicle. Es un sistema de observación submarina no tripulado y operado desde superficie. Puede interactuar con el fondo marino al disponer de brazos articulados. Está equipado con varias cámaras de video digital de muy alta resolución.
- **VOR:** acrónimo de Vehículo de Observación Remolcado. Es un sistema no tripulado y sin posibilidad de interactuar con el fondo marino. Está equipado con una cámara fotográfica y otra de video con el fin de obtener imágenes digitales de muy alta resolución de la superficie del fondo marino.



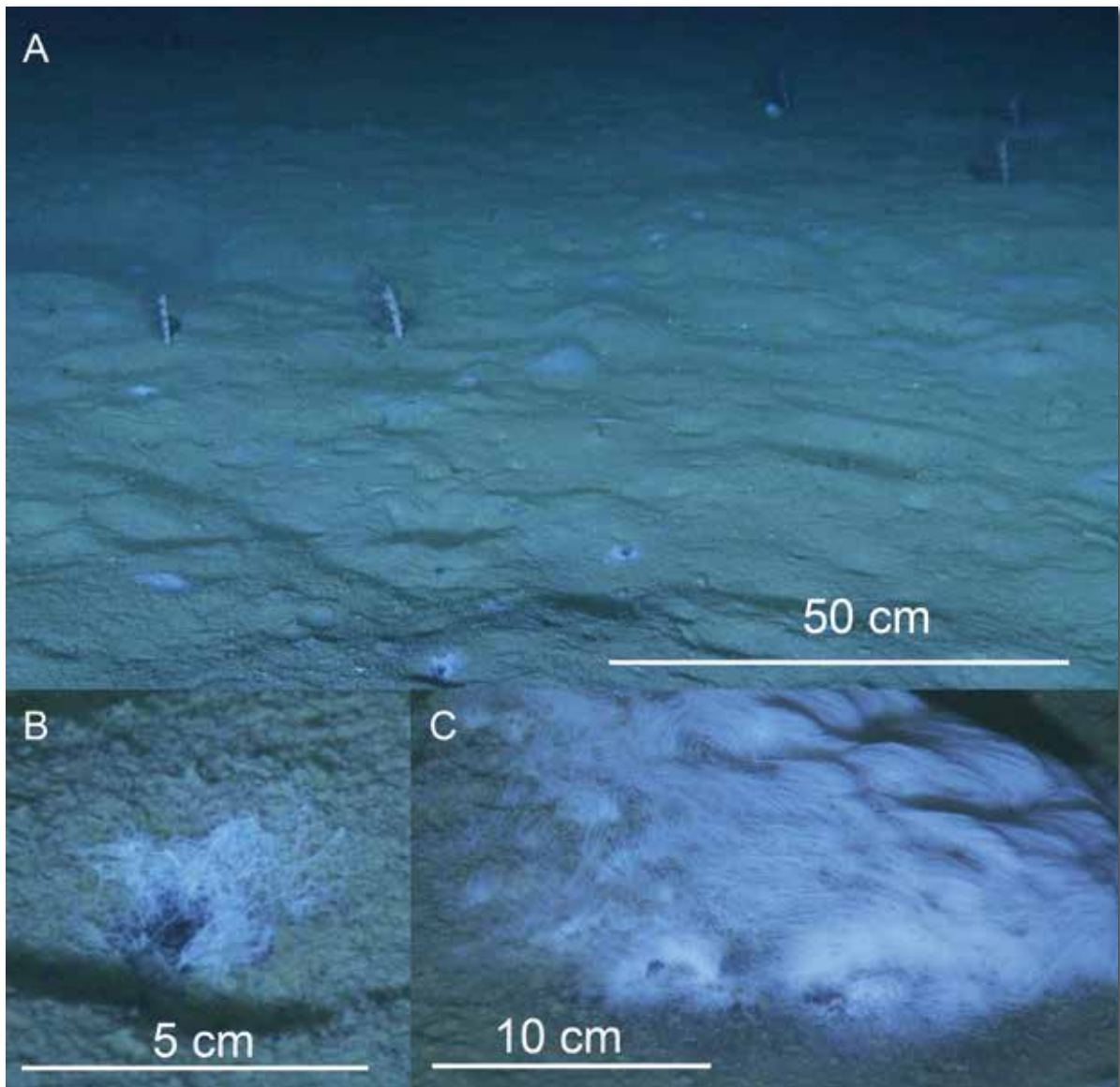
**Figura 8.1.** Fotografías submarinas de los hábitats obtenidas en los volcanes de fango del golfo de Cádiz. (A) Agregaciones de gorgonias; (B) Roca limpia batial con grandes esponjas hexactinélidas; (C) Detalle del coral *Madrepora oculata*; (D) Arrecifes de corales profundos; (E) Fondos detríticos batiales y restos de corales recubiertos de esponjas, hidrozoos y briozoos; (F) Fondos detríticos con *Flabellum chunii*; (G) Detalle del pennatuláceo *Pennatula aculeata*; (H) Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemnion stelliferum*; (I) Fangos batiales con *Pheronema carpenteri*; (J) Fangos batiales con *Radicipes fragilis* e *Isidella elongata*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

en el hecho de que son las responsables del consumo del metano movilizado en el interior de los sedimentos. Esta actividad genera, como productos derivados, importantes cantidades de sulfuro de hidrógeno y bicarbonato. El sulfuro de hidrógeno es el sustento principal de comunidades de invertebrados con quimiosimbiontes<sup>def</sup>, fundamentalmente moluscos bivalvos y poliquetos frenulados, que habitan en los focos de emisión. Por su parte, el bicarbonato es esencial para facilitar la precipitación de los carbonatos autigénicos en el interior de los sedimentos y ofrecer un sustrato útil para la colonización de las especies sésiles, toda vez que haya sido desenterrado por el efecto de las intensas corrientes de fondo.

Su singularidad está sustentada por la circunstancia de que las archaeas y bacterias son de los pocos organismos existentes en el fondo marino capaces de atrapar y descomponer

el metano, facilitando así la precipitación de sus componentes en forma de agregados minerales e impedir su expulsión a la atmósfera. El volumen e importancia que tienen las emisiones naturales de metano a la atmósfera, procedentes de la actividad del fondo marino, no está convenientemente cuantificada, dado que en la actualidad no se conocen con precisión los lugares ni la intensidad del flujo que se emite desde el fondo marino del océano global. Hay que tener presente que el impacto que tienen las emisiones de metano sobre el efecto invernadero es unas 20 veces superior al que produce el dióxido de carbono. Las concentraciones de metano en forma de hidratos en los fondos subsuperficiales marinos superan a todas las reservas de petróleo y gas natural conocidas en la Tierra, lo que representa un peligro potencial para las alteraciones climáticas. Una súbita expulsión de metano en cantidades masivas provocada por alguna catástrofe de carácter natural podría cambiar el clima en un corto espacio de tiempo. Esta perspectiva hace que los organismos consumidores de metano que ocupan los focos de emisión submarinos se conviertan no solamente en el último biofiltro natural del que la naturaleza ha provisto a los fondos marinos, sino también en una obligación que el ser humano ha de contraer para conservarlos y protegerlos, con el fin de que las actividades que desarrolla en el medio marino no determinen su desaparición.

Desde el punto de vista de la conservación de los relieves que forman los volcanes de fango, puede decirse que se encuentran en un nivel aceptable, a pesar del fuerte deterioro que ha experimentado la superficie del fondo marino utilizada como caladero de pesca de arrastre de fondo. Algunos volcanes acusan el impacto de los artes de arrastre, produciéndose peligrosas removilizaciones de los fangos sobresaturados de metano. También se han observado zonas ocupadas por tapetes microbianos que han sufrido importantes erosiones por efecto de la abrasión ocasionada por dichos artes de pesca. El arrastre sobre estos fondos fangosos, o fango arenosos, tiende a extender el depósito más allá del perímetro que delimita el propio volcán durante su fase de formación. Se crea entonces una falsa sensación de que las playas de pesca, por lo general arenosas, se van enfangando con sedimentos ajenos a la zona que deterioran los caladeros. Existe la creencia, bastante extendida en el sector, de que para

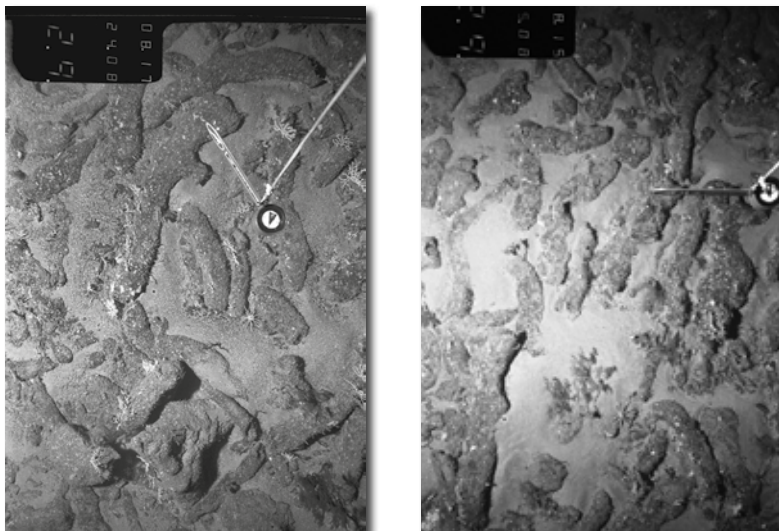


**Figura 8.2.** Imágenes submarinas obtenidas con ROV<sup>def</sup> en un transecto sobre el volcán de fango Anastasya. Se observan pennatuláceos con baja densidad de ocupación del fondo, fundamentalmente de la especie *Kophobelemnion stelliferum*, distribuidos sobre un fondo con mucha bioturbación. Puede apreciarse la formación de diferentes tipos de tapetes bacterianos que se distribuyen por la cima del volcán y que son de extraordinaria importancia ecológica y medioambiental. **Fotos:** IEO/GEMAR.

combatir este problema pesquero conviene arrastrar con más intensidad para así regenerar los fondos, no siendo conscientes de que dicha intensificación lo que haría sería agravarlo.

Cabe destacar como lugar de extraordinaria conservación toda la superficie ocupada por el volcán de fango Gazul, lugar en el que los corales de aguas frías han encontrado un refugio, sobre todo en las vertientes dominadas por fondos duros (rocas carbonatadas y acumulaciones de coral muerto compactado), que es el sustrato perfecto para construir sus colonias. Este volcán se ha beneficiado de la intensa corriente de fondo que circula por la base del talud superior, cuya fuerza impide

faenar con los artes de arrastre. A ello se añade la consistencia de los sustratos, que supone un peligro para el enganche de las redes. En el volcán de fango Gazul se ha registrado uno de los valores más altos de riqueza específica entre todos los volcanes estudiados. También cabe señalar el entorno de la cumbre del cono volcánico Anastasya como el área en la que se pueden observar los tapetes bacterianos más numerosos, debido a que dicha cumbre no es muy frecuentada por los buques arrastreros. Son muy pocos los pesqueros que se aventuran a arrastrar por estos fondos tan fangosos. Su comunidad quimiosimbionte<sup>def</sup> es uno de los pocos ejemplos existentes dentro del territorio español y europeo.



**Figura 8.3.** Sustratos compuestos mayoritariamente por chimeneas carbonatadas sobre un volcán de fango. Se han formado en el interior de los sedimentos, en las zonas de emisión de fluidos cargados en metano, y posteriormente exhumadas. La rotura de las chimeneas, a medida que van aflorando en superficie por efecto de la pérdida del sedimento que las recubre, se puede producir por causa del propio peso de las estructuras tubulares o bien debido a las fuertes corrientes de fondo o los movimientos sísmicos. **Fotos:** IEO/GEMAR.

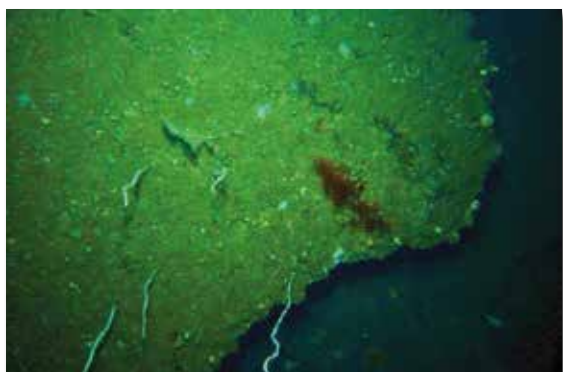
En cuanto a las comunidades quimiosintéticas de los volcanes de fango, conviene señalar que presentan una amplia variabilidad espacial y diferentes grados de desarrollo y complejidad estructural. En Anastasya y Almazán son más diversas y complejas, aunque presentan una mayor densidad en las cimas de los volcanes Hespérides y Aveiro. No obstante, la amplia actividad pesquera en el volcán Anastasya parece poner en peligro la persistencia y desarrollo de este tipo de comunidades. Los tapetes microbianos de la superficie del fondo son muy sensibles a cambios físicos y geoquímicos del sedimento. Además, se

encuentran limitados por ser endémicos de algunas zonas muy concretas y con poblaciones restringidas.

Uno de los riesgos que más preocupa a los científicos es la hipotética utilización del gas metano subsuperficial como recurso energético, puesto que influiría indudablemente en la desaparición de las comunidades con un metabolismo basado en la obtención de energía a partir de los escapes de fluidos. La extracción o removilización industrial de los depósitos superficiales en las zonas de expulsión podría desencadenar deslizamientos catastróficos para el sostenimiento del margen

continental y de las especies que viven sobre él, ocasionando una liberación masiva y súbita de gran parte del gas metano acumulado en el subsuelo del fondo marino.

La importancia de las depresiones de colapso y de los pockmarks reside en el hecho de que pueden presentar comunidades bentónicas relacionadas con la expulsión de fluidos cargados en gas y, en consecuencia, facilitar la precipitación de carbonatos autigénicos<sup>def</sup> y su posterior colonización por especies sésiles. La variabilidad ambiental que ofrecen estas estructuras puede ser aprovechada



**Figura 8.4.** (Izquierda) Detalle de un fragmento de enlosado colonizado por cnidarios (*Callogorgia verticillata*, *Viminella flagellum*), equinodermos y poríferos. La emisión de fluidos cargados en gases hidrocarburos genera el ambiente idóneo para que los consorcios microbianos realicen la oxidación anaeróbica del metano. Dicha oxidación favorece la precipitación de carbonatos que forman superficies tabulares de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) o de dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] en el interior de los sedimentos. La exhumación de los enlosados se produce de un modo natural por efecto de las corrientes de fondo que erosionan los depósitos sedimentarios sin consolidar. (Derecha) Enlosado fragmentado característico de la superficie que forma el techo de los diapiros saturados de gas. El abombamiento de la cima del diapiro provoca la fracturación de las superficies encostradas. (Dimensiones aproximadas de las fotos: 1.5 x 1 metro). **Fotos:** IEO/GEMAR.

biológicamente.

Por ejemplo, los pockmarks pueden presentar comunidades bentónicas compuestas por hidrozoos, poríferos, poliquetos, moluscos o crustáceos que suelen colonizar los fondos que los circundan, cuando el depósito es de naturaleza fangosa.

El nivel de conservación de las depresiones de colapso y de los pockmarks es, por lo general, alto. El campo profundo de expulsión de fluidos, donde la actividad humana es muy escasa, conserva magníficos ejemplos de la diversa tipología de este hábitat en un buen estado de conservación. Es más, muy probablemente, el proceso de formación de dichas estructuras continúe activo en la actualidad y se siga facilitando la formación de este tipo de relieves singulares. La depresión de colapso localizada al sur del complejo diapiro/volcán Hespérides es la estructura de colapso más espectacular y la de mayores dimensiones del LIC.

Los hábitats constituidos por carbonatos autigénicos presentan una buena calidad de conservación. Los lugares en los que las superficies de enlosados y costras carbonatas están mejor representadas son aquellos que están sometidos a una mayor erosión por efecto de las corrientes de fondo. Destacan las zonas de Enmedio y Enano, junto con las cercanías de Chica. Varios conos volcánicos muestran una gran cantidad de fragmentos de roca procedentes de la fracturación de carbonatos y de chimeneas. Un claro ejemplo son los que forman parte del complejo Hespérides.

### 1170. Arrecifes

Se han identificado hasta 9 subtipos de hábitats ligados al hábitat 1170 denominado "Arrecifes", como son: (1) Roca batial con *Acanthogorgia hirsuta*; (2) Arrecife de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata*; (3) Fondos rocosos profundos con antipatarios de los géneros *Leiopathes*, *Antipathes* y *Stichopathes*; (4) Roca batial con



**Figura 8.5.** Corales de aguas frías en el volcán Gazul, compartiendo sustrato con especies de corales negros (*Anthipatella subpinnata*). Foto: IEO/GEMAR.

grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema*); (5) Roca batial colmatada de sedimentos con *Bebryce mollis*; (6) Roca batial con *Callogorgia verticillata*; (7) Roca batial con *Callogorgia* y desmoesponjas; (8) Fondos rocosos profundos con agregaciones de desmoesponjas; (9) Depósitos de coral muerto con restos de escleractinias (ej.: *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*, *Dendrophyllia alternata*) colonizados por pequeños octocorales (ej.: *Swiftia*, *Bebryce*, *Placogorgia*) y diseminados por *Albolote*, *Gazul*, *Hespérides*, *Almazán* y *Aveiro*.

Gracias a la existencia de fuertes corrientes de fondo, existen numerosas zonas con afloramientos rocosos compuestas por carbonatos autigénicos, tales como chimeneas, costras o enlosados, que propician el asentamiento de este tipo de comunidades sésiles de modo de vida suspensívoro. Los arrecifes de coral constituyen una estructura tridimensional que es esencial para muchas otras especies, ya que les aporta protección ante depredadores o ante los riesgos de ser arrastrados por las fuertes corrientes. Debido a la alta productividad que presenta la zona sobre la que se asientan, suele ser un área de alimentación, de refugio y de cría para diversas especies. La alta complejidad y diversidad de especies que sostiene el hábitat 1170 frente a los fondos blandos batiales adyacentes sugiere qué lugares son un punto caliente de biodiversidad (*hotspots*). De aquí, la gran importancia que tiene proceder a su protección y conservación.

El volcán de fango *Gazul* presenta una alta complejidad estructural desde el punto de vista biológico, gracias a la presencia de los corales

de aguas frías (ej.: *Madrepora oculata*, *Lophelia pertusa*) y otros organismos suspensívoros ligados a dichos corales, como son los moluscos, ofiuroides o decápodos. Los arrecifes de coral de Gazul presentan un buen estado de conservación debido a que no han sido afectados por la pesca de arrastre de fondo. Un buen indicador del estado de conservación es el tamaño de alguna de las colonias, puesto que al ser especies sésiles de muy lento crecimiento las dimensiones que ocupan pueden dar una idea de su aislamiento de los riesgos que tienen otras zonas adyacentes. Se han localizado ejemplares con un porte que alcanza hasta 100 centímetros de altura, por lo que se estima que podrían tener una antigüedad mínima de unos 200 años. Este hábitat es muy sensible a los impactos antropogénicos, que causan un daño físico por abrasión, y también a los cambios ambientales en la columna de agua (disminución del pH, ascenso de temperaturas o cambios en el aporte de partículas).

Las especies de gorgonias *Callogorgia verticillata*, *Acanthogorgia hirsuta* y *Bebryce mollis* suelen conformar diferentes tipos de hábitat 1170 (Arrecifes), ya que colonizan sustratos duros y pueden constituir un hábitat singular, constituido por una gran variedad de especies. Las agregaciones de gorgonias, gracias al importante porte arborescente que pueden adquirir muchas de sus especies, como la *Callogorgia verticillata*, pueden presentar gran cantidad de especies asociadas tanto vertebrados como invertebrados, que utilizan su estructura como refugio, zonas de cría y/o alimento, albergando comunidades con una alta diversidad específica. Los fondos de roca

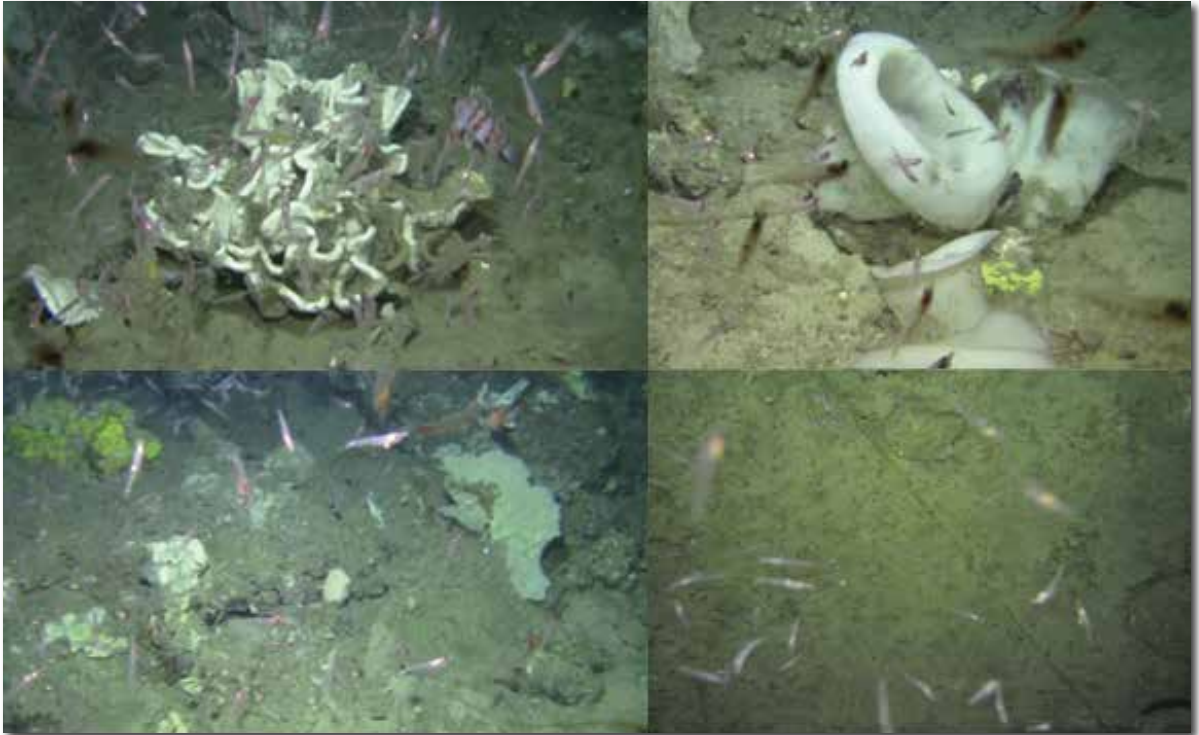
batial con gorgonias localizados en las distintas áreas del campo somero presentan un buen estado de conservación, aunque un incremento de la presión pesquera existente en las áreas adyacentes podría ponerlos en peligro debido a los enganches de tipo accidental de los artes de pesca. El alto porte que alcanza alguno de los ejemplares observados mediante el ROV es un magnífico indicador de su estado. Son especies de muy lento crecimiento, por lo que el grado de vulnerabilidad aumenta notablemente. Al igual que con los corales de aguas frías, este tipo de hábitat es muy sensible a los cambios climáticos, principalmente al aumento de la temperatura del fondo marino, que puede provocar una regresión de estas especies.

Los hábitats constituidos por corales negros forman una red arborescente que es fundamental para la supervivencia de muchas especies, tanto vertebrados como invertebrados, ya que les aporta refugio ante los depredadores. Debido a la alta productividad sobre la que se suelen localizar, son zonas de alimentación o de cría para diversas especies, incluyendo aquellas de carácter comercial, como peces y crustáceos. Los antipatarios presentan una alta sensibilidad y en ellos se ha registrado una de las longevidades más altas de organismos marinos, debido a sus bajas tasas de crecimiento, por eso suelen ser buenos organismos indicadores para el estudio de las variaciones ambientales a lo largo de los siglos pasados. Actualmente, no parece existir una agresión directa de la pesca de arrastre de fondo sobre las comunidades de corales negros, debido a que se localizan sobre sustratos duros que son evitados por la flota de arrastre.



**Figura 8.6.** Colonias de *Leiopathes glaberrima* encontradas en sustratos duros proporcionados por los carbonatos autigénicos en los volcanes de fango: (izquierda) Pipoca; (derecha) Hespérides. **Fotos:** IEO/GEMAR.



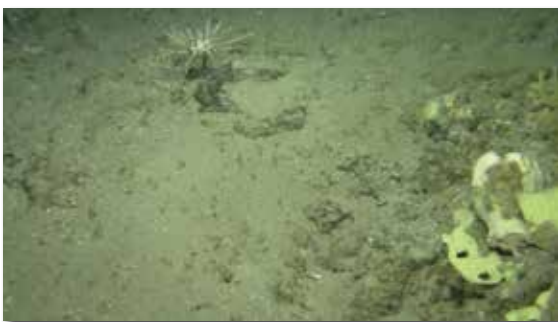


**Figura 8.7.** Imágenes submarinas obtenidas en el entorno de En medio, en las que se pueden observar diferentes tipos de poríferos (ej. *Leiodermatium* sp., *Asconema setubalense*, *Phakellia* sp.) sobre fondos rocosos con carbonatos autigénicos, así como restos de un arte de pesca (probablemente palangre de fondo). **Fotos:** IEO/GEMAR.

Las agregaciones de esponjas sobre sustratos duros (*Asconema setubalense*, *Petrosia* cf. *crassa* o *Geodia* sp.) suelen coexistir con otros hábitats singulares, como son los arrecifes de corales de aguas frías o con agregaciones de gorgonias. Los campos de esponjas ofrecen, frente a los fondos batiales adyacentes, refugio y/o alimento a otras especies. Esto determina un incremento de la complejidad de las redes tróficas, ya que proporciona una magnífica área de alimentación para otras especies, aumentando así la diversidad bentónica del área. Los hábitats del tipo “Roca batial con grandes esponjas hexactinélidas” y del tipo “Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas” se encuentran

singularmente en algunos de los volcanes de fango del campo somero (Gazul, Enano, Enmedio y el complejo Chica) y en la zona del diapiro Magallanes. Estos hábitats presentan un buen estado de conservación debido tanto a la abundancia y biomasa observada de estas comunidades como a la gran variedad de especies asociadas a ellas. Las agregaciones de esponjas son especialmente vulnerables a las alteraciones físicas provocadas por la actividad pesquera de cualquier arte que altere el lecho marino. Esta circunstancia provoca una destrucción casi inmediata del hábitat.

Los depósitos de coral muerto con restos de escleractinias (ej.: *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*, *Dendrophyllia alternata*), junto a otros



**Figura 8.8.** Imágenes submarinas capturadas con VOR<sup>def</sup> en los transectos del volcán de fango Chica. Se observan ejemplares de poríferos, como *Petrosia* cf. *crassa* o *Asconema setubalense*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

bioclastos, facilitan el asentamiento de especies sésiles y de una variada comunidad que ocupa los intersticios generados por la acumulación de fragmentos de coral. Se han identificado áreas con estas acumulaciones en los volcanes Gazul y Almazán, así como en la depresión asociada al volcán Aveiro, en los complejos diapiro/volcán Albolote y Hespérides y, sobre todo, en el diapiro Cristóbal Colón. Se trata de depósitos de coral muerto y muy fragmentado que son colonizados por pequeños octocorales (*Bebryce mollis*, *Swiftia pallida* o *Placogorgia spp.*), así como por pequeños hidrozoos y esponjas incrustantes.

### Propuesta 1: “Habitats biogénicos sobre fondos sedimentarios”

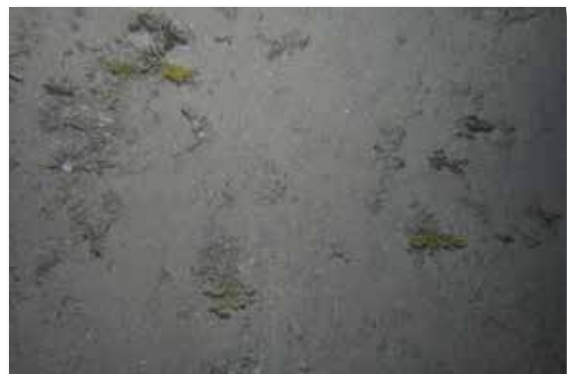
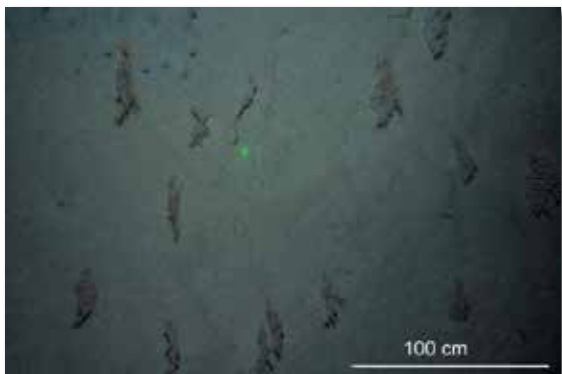
Se han catalogado algunos hábitats sobre fangos batiales que no están incluidos en la Directiva Hábitats, pero sí en la Propuesta 1: “Hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios” realizada con la intención de que sean incluidos en esta importante Red derivada de la normativa europea. Se trata de diferentes comunidades que pueden coexistir

en el mismo espacio: agregaciones de esponjas de fondos blandos, las comunidades de pennatuláceos, campos de coral bambú (*Isidella elongata*) y campos de *Radicipes fragilis*. Estas comunidades, de forma asociada o individual, incrementan la complejidad ambiental y la biodiversidad del ecosistema bentónico del área. Son garantes de la existencia de zonas de alta productividad, ofreciendo refugio y alimento a otras especies. La principal amenaza que se cierne sobre todos ellos es la pesca de arrastre de fondo.

El hábitat denominado Fangos batiales con *Pheronema carpenteri* y con *Thenia muricata* o agregaciones de esponjas sobre fondos blandos debería de representar uno de los hábitats más dominantes en el golfo de Cádiz debido al carácter fangoso del sedimento. Sin embargo, muestran una presencia limitada debido a la importante presión que sobre ellos ejerce la actividad pesquera. Las agregaciones de esponjas halladas en áreas profundas, tanto de *Thenia muricata* como de *Pheronema carpenteri*, presentan un buen estado de conservación, pues sobre esta área no se está ejerciendo actividad pesquera alguna que merme su integridad o extensión geográfica.



**Figura 8.9.** (izquierda) Detalle de imagen submarina de *Thenia muricata*; (derecha) Fangos batiales con *Thenia muricata* presentes en el entorno de Pipoca. **Fotos:** IEO/GEMAR.



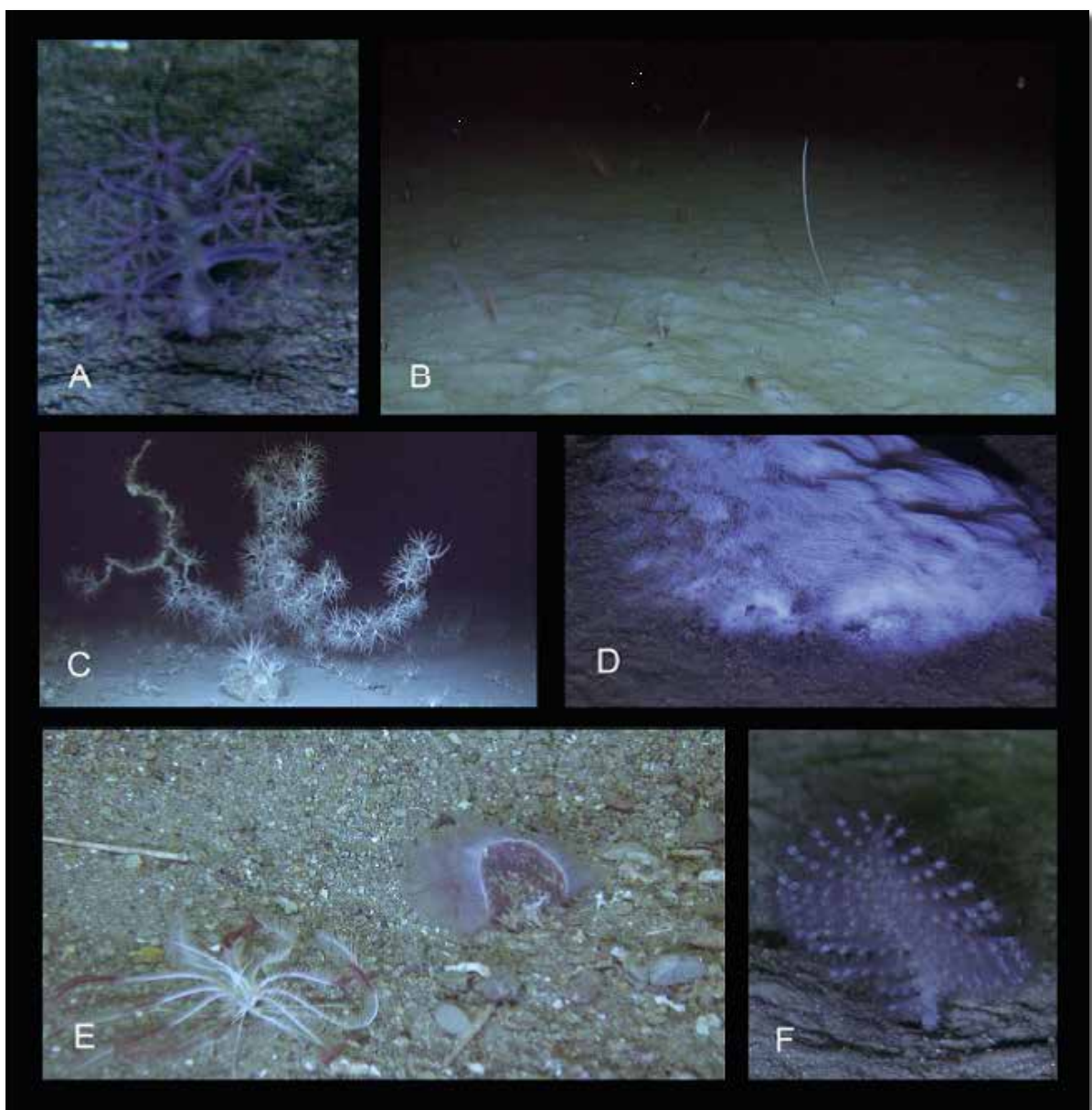
**Figura 8.10.** Imágenes submarinas obtenidas en los transectos de VOR del volcán Almazán, en las que se observan los fangos batiales compactos con *Isidella elongata* (izquierda) o zonas de coral muerto compacto colonizado por gorgonias (derecha, *Placogorgia sp.*). **Fotos:** IEO/GEMAR.

Por el contrario, su estado de conservación en áreas someras del LIC, con dominancia de *Thenea muricata*, sólo es aceptable.

El hábitat formado por fondos batiales con *Flabellum* presenta una distribución bastante dispersa, aunque siempre se encuentra en las cercanías de algunos volcanes de fango, posiblemente ligado a sus características sedimentológicas (fangos batiales, fondos mixtos). La conservación se podría considerar buena en los casos identificados en la depresión de Gazul, Pipoca o Hespérides. Las agregaciones de *Flabellum* incrementan la heterogeneidad sedimentaria, favoreciendo

una mayor biodiversidad de especies. Estos hábitats se caracterizan por presentar una mayor abundancia y biomasa que en los fondos similares que no ocupa la especie. Ofrecen refugio para larvas y sustrato para la puesta de pequeños invertebrados (ej.: Turridae). En los fondos donde se desarrollan estos corales se ha documentado el papel de desove y alimentación para varias especies de aguas profundas de importancia comercial.

Las comunidades de pennatuláceos de fangos batiales con dominancia de *Kophobelemnon stelliferum* y/o *Funiculina quadrangularis* están



**Figura 8.11.** Especies estructurantes de diferentes tipos de hábitats (a) pennatuláceo *Kophobelemnon stelliferum*, (b) diferentes pennatuláceos en la cima de Anastasya, destacando *Funiculina quadrangularis* por su mayor porte (alrededor de 30 centímetros de largo), (c) agregación de *Leptometra phalangium* colonizando el sedimento y restos de un ejemplar del coral negro *Leiopathes glaberrima* en el volcán Pipoca, (d) tapetes bacterianos en la cima del volcán Anastasya, (e) detalle del crinoideo *Leptometra phalangium* y del coral solitario *Flabellum chunii*, y (f) detalle del pennatuláceo *Pennatula aculeata*. **Fotos:** IEO/GEMAR.

ampliamente distribuidos entre los distintos volcanes de fango. Muestran un buen estado de conservación en aquellos volcanes más alejados de la costa, como son Tarsis y Pipoca, y también, aunque con menor densidad, en Chica. En este tipo de hábitats son comunes algunas especies de interés comercial, como la cigala o la gamba, entre otras.

Los hábitats dominados por fangos batiales con *Radicipes* generan rodales de mayor complejidad en un ambiente relativamente homogéneo de baja diversidad. Su vulnerabilidad al daño físico hace que los fangos batiales con *Radicipes* presenten diferentes grados de desarrollo y complejidad estructural debido a su fragilidad y su exposición a la intervención humana. Se encuentran distribuidos en forma de colonias, cercanos a los volcanes de fango con escasa presión pesquera. Estas colonias de corales gorgonáceos proporcionan un hábitat importante para otras especies, ofreciendo sustrato para organismos suspensívoros o refugio a una gran cantidad de organismos, como moluscos, crustáceos y peces, entre otros. Estas gorgonias están adaptadas a ambientes de fuerte turbulencia. Su baja tasa de crecimiento hace que sea muy difícil su recuperación ante las perturbaciones ambientales.

Un caso parecido es el hábitat denominado fangos batiales compactos con *Isidella elongata*, localizado en los volcanes Aveiro y Almazán, que no presentan apenas perturbaciones por la pesca de arrastre, mostrando un buen estado de conservación. Un buen indicador de su estado de conservación puede ser el tamaño de las

colonias, mayores de 20 centímetros, por lo que su antigüedad podría ser de varias decenas de años. Se caracterizan por tener muchas especies asociadas, proporcionando un hábitat esencial para la alimentación de los depredadores, como los equinodermos, ofreciendo un sustrato para organismos suspensívoros, como son los antozoos, o bien refugio a una gran cantidad de organismos, como los moluscos, poliquetos, crustáceos y peces, entre otros.

Los hábitats que se han catalogado en los volcanes de fango del golfo de Cádiz y que no tienen aún correspondencia con la Directiva Hábitats son: “Arenas y arenas fangosas dominadas por hormathiidae (*Actinauge richardi*)”, “Fondos sedimentarios batiales no fangosos con *Cidaroideos (Cidaris cidaris)*”, “Fondos detriticos batiales con *Flabellum*”, “Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*”, “Fondos mixtos batiales con *Swiftia*”, “Fangos batiales” y “Arenas y arenas fangosas batiales”.

### Aves marinas

Las aves marinas representan también un valor destacado en aguas del golfo de Cádiz, si bien la zona más importante identificada en la región corresponde a una ZEPA más costera, denominada “Golfo de Cádiz” (ESES00500). Aun así, la abundancia y diversidad de aves marinas en aguas del LIC es también interesante, especialmente para las especies más pelágicas, como los paíños.



Figura 8.12 Varios ejemplares de paíño europeo (*Hydrobates pelagicus*). Foto: SEO/BirdLife - J. M. Arcos

## 9 Consecuencias de la protección y posterior gestión del área

La protección de zonas de alto valor ecológico en la mar tiene su máximo exponente en el establecimiento de espacios marinos protegidos, considerados desde un punto de vista holístico y gestionados de acuerdo con el enfoque ecosistémico. La creación de espacios marinos protegidos adecuadamente gestionados se considera la herramienta más coherente, desde un punto de vista ecológico, para la protección del medio marino.

La gestión de los espacios marinos protegidos ha de ser flexible y adaptable según la figura de protección del espacio y los objetivos de conservación que se pretendan alcanzar, para cuyo cumplimiento se establecen unas determinadas medidas.

No obstante, el establecimiento de espacios protegidos es una herramienta útil para lograr una adecuada planificación espacial marina que permita lograr o mantener un buen estado ambiental de los mares y océanos. Por tanto, dicha planificación espacial es lo que permite definir los usos y actuaciones más acordes con las características de cada zona.

En el caso de los espacios protegidos Red Natura 2000, las medidas deberán estar enfocadas hacia la conservación y, en su caso, la recuperación de la biodiversidad y los procesos ecológicos de la zona, permitiendo el aprovechamiento de los recursos de una manera sostenible ambiental y socialmente. Así pues, las medidas contenidas en el plan de gestión de un espacio protegido Red Natura 2000 van a permitir que se controle e, incluso, fomente, en la medida de lo posible, los usos y aprovechamientos de los recursos que se realizan en el lugar tradicionalmente y, al mismo tiempo, van a asegurar que éstos se llevan a cabo de modo sostenible y son compatibles con la protección del espacio. Esta es la principal diferencia en la gestión de los espacios de la Red Natura 2000 con respecto a otros espacios protegidos, puesto que los instrumentos de gestión de dichos espacios tienen como objetivo lograr o mantener en un estado de conservación favorable los hábitats y las especies por los cuales los espacios han

sido declarados. Por tanto, han de respetar aquellos usos que han permitido que dichos valores naturales pervivan.

En el seno de la Comisión Europea existe un grupo de expertos en medio marino que elabora documentación de referencia útil para los Estados miembros y otros agentes implicados, y revisa los avances desarrollados por cada uno de los países miembros, con el fin de facilitar la designación de nuevos espacios marinos de la Red Natura 2000 y su futura gestión.

En el plan de gestión de una ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) se deben establecer medidas de conservación especiales para evitar que las perturbaciones en el hábitat de las aves por las que se establece la protección de la zona no mermen su supervivencia.

Los LIC (Lugares de Importancia Comunitaria), por su parte, tienen un régimen de protección preventiva, desde el momento en que un espacio es propuesto a la Comisión Europea y hasta su declaración formal, que garantiza que no exista una merma del estado de conservación de los tipos de hábitats y de las especies por las que se propone. Una vez incluidos en las listas de LIC por la Comisión Europea, deben ser designados como ZEC (Zona Especial de Conservación) lo antes posible y, como máximo, en un plazo de 6 años, junto con la aprobación del correspondiente plan o instrumento de gestión.

Por tanto, la designación de una ZEC o una ZEPA en el medio marino debe ir acompañada de las medidas de conservación que respondan a las exigencias ecológicas de los tipos de hábitat naturales y de las especies presentes en dichas zonas. A su vez, las administraciones públicas competentes deben tomar las medidas adecuadas para evitar el deterioro de los hábitats naturales y de los hábitats de las especies, así como las alteraciones que repercutan en dichas especies.

Las medidas de conservación de las ZEC y ZEPA se concretan en planes o instrumentos de gestión adecuados que incluyen, al menos,

los objetivos de conservación del lugar y las medidas reglamentarias o administrativas apropiadas que garanticen un estado de conservación favorable de las especies y los tipos de hábitats de interés comunitario.

Por otra parte, también deberán aportarse las medidas necesarias para evitar el deterioro o la contaminación de los hábitats fuera de la Red Natura 2000.

La Comisión Europea realiza un seguimiento periódico del estado de la Red Natura 2000. Se encarga también, junto con la Agencia Europea de Medio Ambiente, de estudiar la necesidad de declaración de nuevos espacios o la ampliación de los ya existentes, con el objetivo final de garantizar la adecuada protección de los tipos de hábitats naturales marinos y de las especies marinas de interés comunitario.

En la actualidad, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, concretamente la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, es el órgano competente para la designación como ZEC de los LIC marinos ya declarados y para su gestión, en el marco de lo establecido en el artículo 6 de la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Para ello, debe encargarse de la elaboración de los correspondientes instrumentos de gestión de los espacios marinos protegidos.

Aunque la actual Directiva Hábitats incluye en sus anexos un escaso número de especies y tipos de hábitats marinos de interés comunitario, en comparación con el medio terrestre, dichos hábitats y especies no están suficientemente representados en la Red Natura 2000 debido, en parte, a la escasa información científica existente sobre dichas áreas marinas. Por ello, es necesario proponer la inclusión de nuevos lugares en la red que cubran este déficit. La inclusión de nuevos espacios, en especial de zonas alejadas de la costa, es compleja, debido a la dificultad de conseguir información científica que avale las propuestas y a la necesidad de consensuar los diferentes usos que se hacen de dichos lugares.

Por ello, con el objetivo de mejorar la representación de los hábitats y especies marinas de las regiones biogeográficas atlántica, mediterránea y macaronésica en la Red Natura 2000, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha trabajado en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES “Inventario y designación de la Red Natura 2000 en áreas

marinas del Estado español” desde sus inicios, como administración pública competente, con el objetivo final de contribuir a la protección y al uso sostenible de la biodiversidad en los mares españoles mediante la identificación de espacios valiosos para la Red Natura 2000.

La Administración General del Estado vigilará – según los términos establecidos en el artículo 6 y 36.1 de la Ley 42/2007– el estado de conservación de los tipos de hábitats naturales y las especies de interés comunitario marinos, teniendo especialmente en cuenta los tipos de hábitats naturales y las especies prioritarios, así como el estado de conservación de las especies de aves que se enumeran en el anexo IV de la Ley 42/2007. Dicha vigilancia se enmarcará en un gran programa de seguimiento y vigilancia que debe contar con las estructuras y medios adecuados que permitan llevar a cabo una gestión coherente y efectiva. Se trata de promover la conservación y el uso sostenible de una gran red de espacios protegidos, muchos de ellos con importantes tipos de hábitats y especies; entre estas últimas, hay algunas altamente migratorias, que necesitan de un seguimiento y una vigilancia específicos.

Por otra parte, la gestión de los lugares de la Red Natura 2000 debe tener en cuenta las resoluciones y recomendaciones emanadas de los convenios marinos regionales, como el Convenio OSPAR para la protección del medio ambiente marino del Atlántico del nordeste y el Convenio de Barcelona para la protección del medio marino y de la región costera del Mediterráneo. Ambos convenios establecen redes de espacios protegidos a los que se aplican una serie coherente de criterios de gestión. Puesto que los espacios de la Red Natura 2000 en España se podrían integrar en dichas redes internacionales, se aplicarán los citados criterios de gestión.

Adicionalmente, la gestión de esa gran red de espacios marinos protegidos debe ser innovadora, puesto que los espacios de la Red Natura 2000 son muy diferentes entre ellos. Algunos se encuentran en zonas alejadas de la costa, y una gestión tradicional no sería ni adecuada ni realista. Por ello, deben diseñarse medidas novedosas adaptadas a las particularidades de cada uno de los espacios.

De este modo, a las metodologías utilizadas hasta la fecha (seguimiento de especies mediante medios aéreos, embarcaciones y buceo

científico) se deberán unir ahora los modernos sistemas de seguimiento remoto (redes de hidrófonos, técnicas de geoposicionamiento de usuarios de los espacios protegidos, diversos sistemas de observación directa, etc.).

Todas estas herramientas de gestión, seguimiento y vigilancia de los espacios protegidos han de ir acompañadas por una adecuada labor de divulgación, formación y responsabilidad corporativa. El éxito de la gestión en un espacio de la Red Natura 2000 se ha de lograr con una implicación directa de los usuarios del espacio en todas las fases de la gestión, mediante la participación activa de todos los sectores implicados. Los usuarios son los principales interesados en mantener los valores naturales del espacio, puesto que disfrutan de esos valores o incluso viven de ellos.

Una gestión adecuada tiene que encontrar el equilibrio entre el mantenimiento o la mejora del estado de conservación de los lugares y la utilización sostenible de los mismos, mediante el diálogo constante entre todos los usuarios de los espacios.

La peculiaridad del área marina comprendida en el LIC “Volcanes de fango del Golfo de Cádiz” se caracteriza por la presencia de unas estructuras submarinas producidas por el escape de gases, conocidas como chimeneas carbonatadas, que constituyen el hábitat de diferentes especies de alto interés natural al ofrecer un sustrato sobre el que edifiquen sus colonias. Dichas chimeneas carbonatadas, y otros sustratos consolidados de la misma composición, son la expresión de un fenómeno producido por la expulsión de fluidos procedentes del fondo marino que favorecen la formación de una gran diversidad de relieves y hábitats de alto interés ecológico.

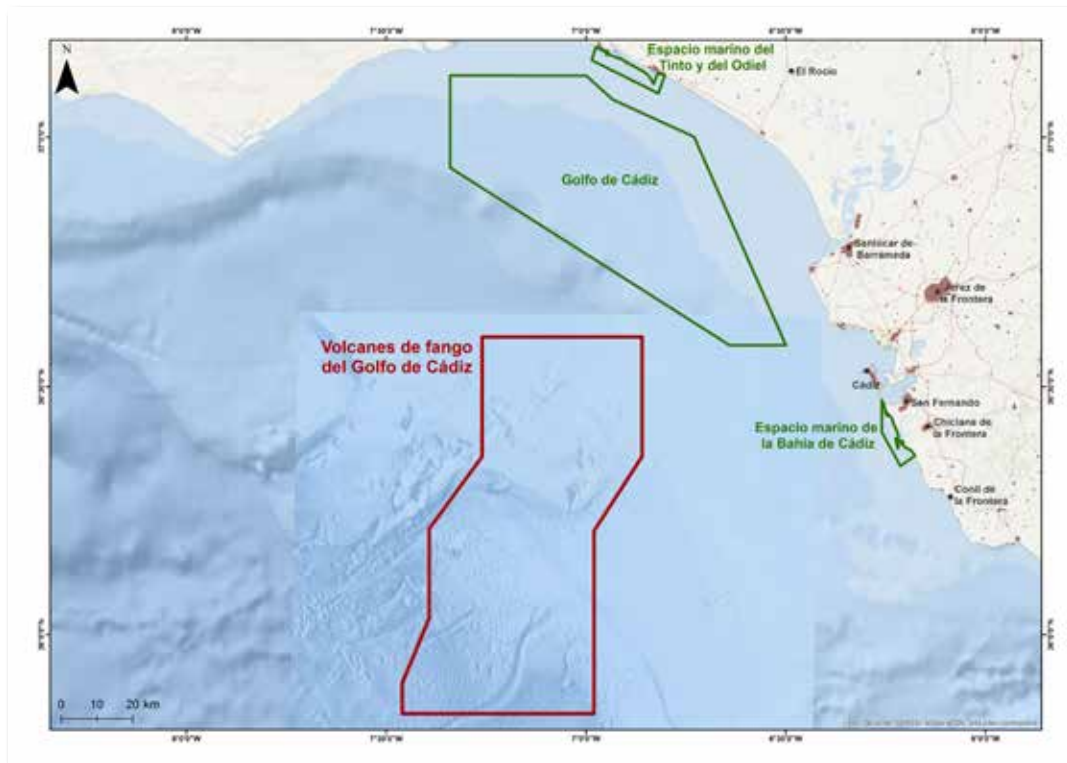
En el área de los Volcanes de fango del Golfo de Cádiz se han identificado hábitats de interés comunitario correspondientes a Arrecifes y Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases. Destacan, de manera singular, todas las especies coloniales y los consorcios de microorganismos que facilitan la precipitación del carbonato con el que se construyen los sustratos consolidados. Las comunidades microbianas se extienden sobre los focos de emisión de metano y también forman tapetes que recubren la superficie del sedimento. La misión de estos tapetes bacterianos es consumir el gas

metano que alcanza la columna de agua, con lo que se revaloriza su importancia ecológica, trascendiendo al contexto ambiental al impedir que el metano alcance la atmósfera con lo que se incrementaría el efecto invernadero. El riesgo evidente que soportan dichos tapetes es que, al ser comunidades sésiles, quedan sometidos a las presiones antropogénicas, que tienden a destruirlas por causa de la removilización de los fondos sedimentarios que colonizan.

Los impactos de las actividades antropogénicas están vinculados directamente con la actividad de la flota pesquera de arrastre de fondo, junto a un menor impacto de otras modalidades de pesca, que conllevan el problema añadido del abandono de restos de artes de pesca. También es frecuente la extracción de rocas carbonatadas, provocando el deterioro de dichos hábitats. Por último, la instalación de infraestructuras de cableado submarino supone una amenaza más a tener en cuenta a la hora de gestionar el área.

Aunque los hábitats submarinos presentes en el área no tienen especial relevancia para la alimentación y reproducción de cetáceos y tortugas marinas, sí constituyen importantes zonas de paso para especies de cetáceos, como el delfín mular (*Tursiops truncatus*) y la marsopa (*Phocoena phocoena*), y de tortugas, como la tortuga boba (*Caretta caretta*), la tortuga laúd (*Dermochelys scoriácea*) y la tortuga lora (*Lepidochelys kempii*). En consecuencia, será conveniente adoptar medidas de gestión de riesgos en relación con las interacciones con las pesquerías, colisiones con embarcaciones y otras destinadas a combatir la contaminación acústica o la de las redes tróficas. Lo mismo es aplicable a las aves marinas, si bien los esfuerzos de gestión deberán concentrarse en la ZEPA identificada en aguas más costeras, la denominada “Golfo de Cádiz” (ES0000500).

Por tanto, la declaración formal de este espacio como Lugar de Importancia Comunitaria y su posterior gestión tendrá que hacer hincapié en la protección de los hábitats y especies que alberga, así como su compatibilización, en la medida de lo posible, con el desarrollo de las actividades socioeconómicas tradicionales y emergentes, cada vez más pujantes. Llevar a cabo una adecuada gestión del área supone un reto, en el que tienen un papel protagonista las fórmulas de comunicación y participación de todos los agentes implicados.



**Figura 9.1.** Límites de la propuesta del LIC Volcanes de fango del Golfo de Cádiz en rojo y de las nuevas ZEPA declaradas en verde. **Fuente:** Fundación Biodiversidad/Mónica Campillos.

Se concluye que la gestión en el LIC “Volcanes de fango del Golfo de Cádiz” estará orientada a una adecuada protección del área y ha de contemplar medidas tales como la elaboración e implementación de convenios con el sector pesquero, la adopción de sistemas e instrumentos que reduzcan las capturas accidentales de cetáceos y tortugas, así como la implantación de incentivos para los barcos que lleven a cabo las medidas adoptadas en el Plan de Gestión de la zona de manera óptima. Para poder desarrollar una gestión eficaz, las medidas tendrán que contemplar un adecuado asesoramiento del sector pesquero, así como

recomendaciones científicas en el marco de las Organizaciones Regionales de Pesca (ORP) implicadas en el área propuesta. La sensibilización de los pescadores, así como la elaboración de códigos de buenas prácticas, es fundamental.

Con todo ello, se ha de conseguir minimizar el impacto de la actividad pesquera sobre los hábitats y las especies objeto de conservación, así como sensibilizar a la población acerca de los valores naturales del espacio protegido y conseguir una participación social activa en la conservación del futuro LIC, a través de un desarrollo eficaz de la gestión planteada.



# 10 LA RED NATURA 2000, SUS HÁBITATS Y ESPECIES. BREVE RESEÑA SOBRE LEGISLACIÓN.

La conservación del mar y de sus ecosistemas más frágiles y singulares es una obligación recogida en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, aprobada en 1982.

En la Unión Europea, el instrumento principal de protección de la biodiversidad es la **Red Natura 2000** que busca el mantenimiento o, en su caso, el restablecimiento, de un estado de conservación favorable de ciertos hábitats y especies animales y vegetales, incluyendo el medio marino. Su fundamento jurídico se encuentra en:

- La Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la flora y fauna silvestres<sup>1</sup>, conocida como Directiva Hábitats y,
- la Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres<sup>2</sup>, conocida como Directiva Aves.

Ambas directivas han sido traspuestas al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad<sup>3</sup>.

Para garantizar dicha protección se prevé la designación de:

- Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), que son posteriormente declarados como Zonas Especiales de Conservación (ZEC), para la protección y conservación de hábitats y especies animales y vegetales.
- Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), para la protección y conservación de aves.

La designación de un área como parte de la Red

Natura es el primer paso de protección que ha de ser complementado con la elaboración de Planes de Gestión. Dichos Planes establecerán las medidas necesarias para el uso adecuado y sostenible de los recursos, a través de la zonificación racional y teniendo en cuenta las características económicas, sociales, culturales, regionales y de recreo de las zonas. La clasificación de un espacio como parte de la **Red Natura 2000** no persigue la prohibición de actividades sino su regulación. Esto permitirá que mejore la funcionalidad de los ecosistemas, el aumento de la biodiversidad y, por tanto, la capacidad de los ecosistemas para proveer recursos naturales. Todo ello favorecerá el empleo y la productividad de los sectores asociados al medio marino.

De este modo, la **Red Natura 2000** es una red ecológica coherente que promueve la conservación de los espacios y de las especies más relevantes en el contexto europeo.

A nivel internacional existen varios convenios y acuerdos para la protección de la biodiversidad marina, entre los que destacan el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico Nordeste (más conocido como Convenio OSPAR) y el Convenio para la protección del medioambiente marino y de la región costera del Mediterráneo (Convenio de Barcelona).

El Convenio sobre la Diversidad Biológica<sup>4</sup>, negociado en el marco del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y que entró en vigor en 1993, sentó las bases de la protección genérica de la biodiversidad biológica. La X Conferencia de las Partes de dicho Convenio, celebrada en Nagoya (Japón) en 2010, estableció como objetivo estratégico la conservación de al menos el 10% de las zonas marinas y costeras para 2020 por medio de sistemas

<sup>1</sup> DO L 206 de 22.7.1992.

<sup>2</sup> DO L 207 de 26.1.2010.

<sup>3</sup> BOE núm. 299 de 14 de diciembre de 2007.

<sup>4</sup> Puede encontrarse más información en la página Web del Convenio de Diversidad Biológica: <http://www.cbd.int/>

de áreas protegidas, especialmente aquellas de particular importancia para la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas.

Junto a este Convenio, los Convenios OSPAR y de Barcelona se focalizan en la protección marina del Atlántico nordeste y del Mediterráneo, respectivamente. El Convenio sobre la protección del medio ambiente marino del Atlántico nordeste<sup>5</sup> (más conocido como Convenio OSPAR), aprobado en París en 1992, fusionó los Convenios de Oslo de 1972 y París de 1974. El Convenio de Barcelona para la protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo<sup>6</sup> se aprobó bajo el paraguas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Posteriormente fue complementado por unos protocolos dirigidos a materias concretas: contaminación de origen terrestre; zonas especialmente protegidas y diversidad biológica; contaminación resultante de la exploración y explotación de la plataforma continental y del fondo del mar y subsuelo; movimientos transfronterizos de desechos

peligrosos; y, gestión integrada de zonas costeras del Mediterráneo.

También se deben considerar otros acuerdos como el Convenio sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres (Convenio de Bonn) o el Convenio relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural en Europa (Convenio de Berna).

Junto a este marco jurídico, una organización internacional de carácter científico, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (en inglés International Union for Conservation of Nature, IUCN), ha elaborado la Lista Roja de Especies Amenazadas (Red List of Threatened Species). Esta lista es el inventario más completo del estado de conservación de especies animales y plantas a nivel mundial siguiendo criterios para evaluar el riesgo de extinción de las especies. En este inventario se asigna a las especies diferentes categorías de protección en función de la situación actual de sus poblaciones.

## HÁBITATS Y ESPECIES

En el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES se han estudiado e incluido en la **Red Natura 2000** diferentes áreas con el objetivo de proteger tanto hábitats como especies de animales y vegetales consideradas de interés para la Unión Europea y que son definidos en el anexo I y II respectivamente de la Directiva Hábitats, y en el Anexo I de la Directiva Aves. Se tendrán en cuenta las especies en extinción, las vulnerables, las consideradas raras y las que requieren especial atención.

### Hábitats marinos (Incluidos en el Anexo I de la Directiva Hábitats):

**Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina, poco profunda (Hábitat 1110):** Formados por sedimentos de arena fina, a veces de tamaño de grano más grande, incluyendo cantos rodados y guijarros, se encuentran sumergidos permanentemente, cubiertos o no por vegetación y son refugio de fauna diversa.



Bancos de arena.

<sup>5</sup> Puede encontrarse más información en la página Web del Convenio OSPAR: <http://www.ospar.org/>

<sup>6</sup> Puede encontrarse más información en la página Web del Convenio de Barcelona: <http://www.unepmap.org/>

**Praderas de *Posidonia* (*Posidonia oceanica*)**

**(Hábitat 1120):** Praderas submarinas dominadas por la fanerógama marina *Posidonia oceanica*, características de la zona infralitoral del Mediterráneo, hasta profundidades de 40 metros. La importancia ecológica de este hábitat es indiscutible: además de proteger la línea de costa de la erosión, estos ecosistemas ofrecen alimento, refugio y lugar de cría a numerosas especies marinas. Las praderas de posidonia son un indicador del buen estado ambiental, ya que son un hábitat muy sensible a las perturbaciones y crecen únicamente en aguas limpias y claras.

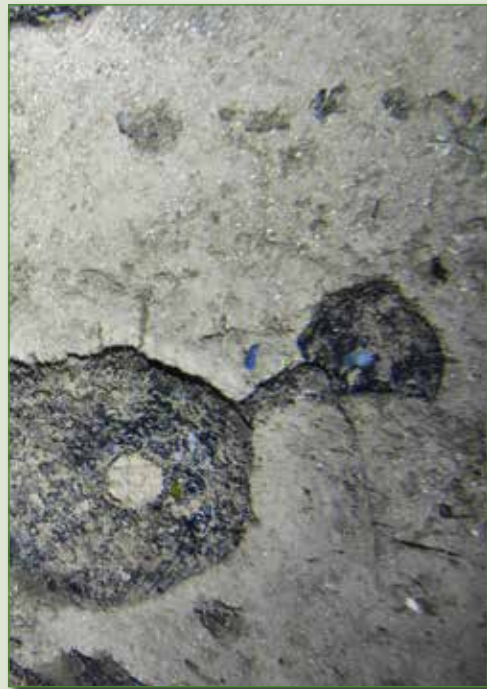
Pradera de *Posidonia oceanica*.Arrecife dominado por la gorgonia *Eunicella singularis*.

**Arrecifes (Hábitat 1170):** Los arrecifes son todos aquellos sustratos duros compactos que afloran sobre fondos marinos en la zona sublitoral (sumergida) o litoral (intermareal), ya sean de origen biogénico o geológico. Pueden albergar comunidades bentónicas de especies de animales y algas, así como concreciones coralígenas.

**Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases (Hábitat 1180):** Complejas estructuras submarinas que consisten en rocas, enlosados y estructuras tubulares y columnares de hasta 4 metros de altura. Estas formaciones se deben a la precipitación carbonatada compuesta por un cemento resultante de la oxidación microbiana, principalmente, de metano.



Cueva marina sumergida.



Chimeneas carbonatadas en las que se observan los conductos centrales por donde escapa el gas metano hacia la columna de agua.

**Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas (Hábitat 8330):** Cuevas situadas bajo el nivel marino, o expuestas al mismo, al menos en marea alta, incluyendo su sumergimiento parcial en el mar. Sus comunidades laterales e inferiores están compuestas por invertebrados marinos y algas.

## Especies marinas (Incluidas en el Anexo II de la Directiva Hábitats):

## Cetáceos:

**Delfín mular** (*Tursiops truncatus*): El delfín mular es una especie cosmopolita ampliamente distribuida en las aguas templadas y tropicales de todo el mundo. Incluso está presente en mares cerrados como el mar Negro o el Mediterráneo. En España se encuentra a lo largo de toda la costa mediterránea y atlántica, incluidas las islas Baleares y Canarias. Se caracteriza por tener un comportamiento muy gregario. Posee una dieta muy variada: merluzas, besugos, caballas, pulpos, calamares y gambas, entre otros animales marinos.

Delfín mular (*Tursiops truncatus*).

**Marsopa común** (*Phocoena phocoena*): Especie típica de las aguas templadas y frías de los océanos del hemisferio norte, que suele habitar en zonas poco profundas y cercanas a la costa.

## Reptiles:

**Tortuga boba** (*Caretta caretta*): Especie cosmopolita de aguas tropicales y subtropicales. Costumbres solitarias y alimentación omnívora, incluyendo en su dieta crustáceos, peces, moluscos, fanerógamas marinas y medusas.

Tortuga boba (*Caretta caretta*).

## Peces:

**Lamprea marina** (*Petromyzon marinus*): La lamprea marina es una especie de pez evolutivamente muy primitiva. Pertenece a un grupo, Agnatos, que se caracteriza por no poseer mandíbula, ni escamas, ni aletas pares y por tener un esqueleto cartilaginoso. Es una especie migratoria cuyo ciclo de vida transcurre entre el medio marino, donde habita en estado adulto, y el medio fluvial, donde se reproduce y se desarrolla su fase larvaria.

**Sollo** (*Acipenser sturio*): El sollo o esturión es un pez muy primitivo, de comportamiento migratorio. Pasa la mayor parte de su vida adulta en el mar, pero se reproduce y desova en los ríos. Es muy longevo, ya que puede vivir más de 100 años. Es una de las especies más amenazadas de Europa; en la actualidad se halla en peligro crítico de extinción, según el Catálogo Rojo de Especies Amenazadas de la UICN.

**Sábalo** (*Alosa alosa*) y **saboga** (*Alosa fallax*): Especies marinas que remontan los ríos para reproducirse. Las poblaciones de estas especies presentan un declive debido al gran número de presas existentes en los ríos, que impiden la migración de las especies a sus lugares de desove.

## Aves marinas (Incluidas en el Anexo I de la Directiva Aves):

### Pardelas y petreles:

- Petrel de Bulwer** (*Bulweria bulwerii*)
- Pardela cenicienta** (*Calonectris diomedea*)
- Pardela balear** (*Puffinus mauretanicus*)
- Pardela chica** (*Puffinus assimilis*)
- Pardela mediterránea** (*Puffinus yelkouan*)



Pardela balear (*Puffinus mauretanicus*).



Paíño de Madeira (*Oceanodroma castro*).

### Paíños:

- Paíño pechalbo** (*Pelagodroma marina*)
- Paíño de Madeira** (*Oceanodroma castro*)
- Paíño europeo** (*Hydrobates pelagicus*)

### Gaviotas:

- Gaviota cabecinegra** (*Ichthyophaga melanocephala*)
- Gaviota picofina** (*Larus genei*)
- Gaviota de Audouin** (*Larus audouinii*)



Gaviota de Audouin (*Larus audouinii*).

### Charranes:

- Charrán patinegro** (*Sterna sandvicensis*)
- Charrán común** (*Sterna hirundo*)
- Charrancito común** (*Sternula albifrons*)



Charrancito común (*Sternula albifrons*).

### Otras especies:

- Arao común** (*Uria aalge albionis*)
- Cormorán moñudo mediterráneo**  
(*Phalacrocorax aristotelis desmarestii*)



Cormorán moñudo mediterráneo (*Phalacrocorax aristotelis desmarestii*).



# 11 Bibliografía

- Arcos, J.M., Bécares, J., Cama, A. & Rodríguez, B.** 2012. Estrategias marinas, grupo aves: evaluación inicial y buen estado ambiental. IEO & SEO/BirdLife. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. [http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/o\\_Documento\\_grupo\\_aves\\_tcm7-223807.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/o_Documento_grupo_aves_tcm7-223807.pdf)
- Arcos, J.M., J. Bécares, B. Rodríguez y A. Ruiz.** 2009. *Áreas Importantes para la Conservación de las Aves marinas en España*. LIFEo4NAT/ES/000049- SEO/BirdLife. Madrid.
- Afán, I., Navarro, J., Cardador, L., Ramirez, F., Kato, A., Rodríguez, B., Ropert-Coudert, Y. & Forero, M.G.** 2014. Foraging movements and habitat niche of two closely-related seabirds breeding in sympatry. *Marine Biology* 161: 657-668
- Baldó, F., García-Isarch, E. Jiménez, M.P., Romero, Z. y Catalán, I.**, 2006. Spatial and temporal distribution of early stages of three commercial fish species in the north eastern shelf of the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Research II*, vol. 53: 1391-1401.
- Baro, J., Serna-Quintero, J.M., Sobrino, I., Jiménez, M.P., Fernández-Salas, L.M.**, 2004. An approach to the spatial distribution of fishing effort in the Gulf of Cadiz. *Thalassas*, 2004, vol. 20 (2): 17-21.
- Baro, J., Díaz-del-Río, V. y García, M.**, 2001. Geoenvironmental and oceanographical roles playing in the habitat of some crustacean species in the Gulf of Cadiz: a tentative proposal of a conceptual regional model. *Oceanos III Milenio*, Ponencias.
- Bécares, J., Rodríguez, B., Arcos, J.M. & Ruiz, A.** 2010. Técnicas de marcaje de aves marinas para el seguimiento remoto. *Revista de Anillamiento* 25-26: 29-40.
- Bécares, J. & Cama, A.** 2013. Huella pesquera en las 39 ZEPA marinas. Acción A10 del proyecto INDEMARES. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).
- Cobo, M.C., Pedrouzo, L., García Álvarez, O., Urgorri, V., Rueda, J.L., Barrio, L., Losada, M.T., Señarís, M.P., Candás, M. y Díaz Agras, G.**, 2012. *Dorymenia sarsii* (Koren & Danielssen, 1877) presente al SW de la Península Ibérica. En: Borja Á (ed) *XVII Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM)*, San Sebastián (Spain). *Revista de Investigación Marina*, vol. 19(6): 282-284.
- Delgado, M., Gil Herrera, J., Rueda, J.L. y Sobrino, I.**, 2011. Demersal and epibenthic fauna of soft bottoms around mud volcanoes in the Gulf of Cadiz. *World Conference of Marine Biodiversity*, Aberdeen, Scotland (UK).
- Delgado, M., Rueda, J.L., Gil, J., Burgos, C. y Sobrino, I.**, 2012. Spatial characterization of megabenthic epifauna of soft bottoms around mud volcanoes in the Gulf of Cádiz. *Journal of Natural History* (aceptado 11/12).
- Díaz, J.I., Farrán, M. and Maldonado, A.**, 1985. Surficial sediment distribution patterns in the Gulf of Cadiz controlled by the geomorphic features and physical oceanographic parameters. *6<sup>th</sup> European Regional Meeting of Sedimentology. I.A.S.*, Lleida, *Abstracts*, pp.: 129-132.
- Díaz del Río, V.**, 2005. El Golfo de Cádiz: identificación de hábitats vulnerables, siguiendo los criterios de la ONU, OSPAR e ICES/WGDEC. *Informe interno del Instituto Español de Oceanografía*, 17 pp.
- Díaz del Río, V., Alveirinho, J.M., Lobo, F., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Vázquez, J.T., Fernandez-Puga, M<sup>a</sup>.C. and Roque, C.**, 1997. La plataforma continental del Golfo de Cádiz: estructuración morfosedimentaria y evolución reciente. *2<sup>o</sup> Simposio sobre el Margen Continental Ibérico Atlántico*. Universidad de Cádiz. *Abstracts*, pp.: 163-164.
- Díaz del Río, V., Vázquez, J.T., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Alveirinho, J.M. Lobo, F.J., Barnolas, A., Maestro, A., Roque, C., Fernandez-Puga, M<sup>a</sup>.C., Luis, J.,**

- Llave, E., Martín-Alfageme, S. y Ferreira, O.,** 1998. Influencia de la tectónica y de la dinámica oceanográfica en los rasgos geomorfológicos del talud continental del Golfo de Cádiz. En: *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. A. Gómez Ortiz y F. Salvador Franch (Edts.), Barcelona, pp.: 317-324.
- Díaz del Río, V., Somoza, L., Martínez-Frías, J., Mata, P., Delgado, A., Hernández-Molina, F.J., Lunar, R., Martín-Rubí, J.A., Maestro, A., Fernández-Puga, M.C., León, R., Llave, E., Medialdea, T., Vázquez, T. y Hernández-Molina, F.J.,** 2003. Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cadiz. *Marine Geology*, vol. 195 (1/4): 177-200.
- Díaz del Río, V., Fernández Salas, L.M., Gil Herrera, J., Ramos Modrego, F. y Jiménez Gómez, M.P.,** 2006. Gulf of Cadiz Regional Ecosystem. *Technical Report*, Instituto Español de Oceanografía, 53 pp.
- Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Gil Herrera, J., Ramos Mondrego, F. y Jiménez Gómez, M.P.,** 2012. Los valores naturales del Golfo de Cádiz relacionados con los escapes de gas y los montículos carbonatados. Criterios ecológicos y consideraciones prácticas sobre su protección. *Informe de carácter interno*. Instituto Español de Oceanografía. 69 pp.
- Díaz del Río, V.,** 2012. Cádiz: un golfo a medio camino entre Marte y el Caribe. En: XXX Semana de Estudios del Mar, ASESMAR (ed.), pp: 183-207.
- Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Bruque, G., López, F.J., Rueda, J.L., López-González, N., Vázquez, J.T., González-García, E., Sánchez, O., Oporto, T., Rittierott, C., Rodríguez-Polo, S., Goicoechea, M., Gutierrez, D. y Monroy, F.J.,** 2012. Emplazamiento de algunas estructuras submarinas relacionadas con la tectónica salina y la expulsión de gases en el talud superior y medio del Golfo de Cádiz. 7<sup>º</sup> *Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico - MIA12*, Lisboa
- Díaz del Río, V.,** 2013. Geohábitats versus Geomorfología. En: XXXI Semana de Estudios del Mar, ASESMAR (Ed.), pp.: 165-191.
- Echevarría, F., Zabala, L., Corzo, A., Navarro, G., Prieto, L., Macías, D.,** 2009. Spatial distribution of autotrophic picoplankton in relation to physical forcings: the Gulf of Cádiz, Strait of Gibraltar and Alborán Sea case study. *Journal of Plankton Research*, vol. 31:1339-1351.
- Fariás, C.,** 2012. Patrones de distribución espacial de especies formadoras de hábitats profundos del Golfo de Cádiz. Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar. *Master en Acuicultura y Pesca: recursos marinos y sostenibilidad*. Director: Dr. José L. Rueda Ruíz y Dr. Juan Gil. 60pp+10 anexos.
- Fariás, C., González-García, E., Gil Herrera, J., Rueda, J.L., Baro, J., Sobrino, I., Díaz del Río, V.,** 2012. Nuevas citas de especies de peces inusuales para el golfo de Cádiz. *III International Symposium in Marine Science*, Cádiz (Spain)
- Fernández, A., Cascalho, A., Lima-Dias, M. y Pereiro, J.,** 1981. Peces capturados en la campaña "Cigala-79" a lo largo de la plataforma atlántica de la Península Ibérica (División IX-a del ICES). *Bol. Inst. Esp. Oceanog.*, vol. VI: 90-109.
- Fernández, A. y Fariña, A.C.,** 1984. Contribución al conocimiento del sustrato y especies acompañantes de la cigala (*Nephrops norvegicus*) en el Golfo de Cádiz. *Bol. Inst. Esp. Oceanog.*, vol.1(2): 126-133.
- Fernández-Delgado, C.** 1987. Ictiofauna del estuario del Guadalquivir: su distribución biológica de las especies sedentarias. *Ph. D. Dissertation*, Univ. Córdoba, 152 pp.
- Fernández-Puga, M.C.,** 2004. Diapirismo y Estructuras de expulsión de gases hidrocarburos en el talud continental del Golfo de Cádiz. *Tesis Doctoral*, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Cádiz, 336 pp.
- Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Medialdea, T., Mata, M.P., León, R.** 2007. Gas related morphologies and diapirism in the Gulf of Cadiz. *Geo-Marine Letters*, vol. 27: 213-221.
- Fernández-Puga, M.C., Vázquez Garrido, J.T., Medialdea, T., Somoza, L., Díaz del Río, V. y León, R.,** 2010. Evidencias morfológicas y geofísicas de la actividad tectónica actual en el



- sector septentrional del talud continental del golfo de Cádiz. In: Insua JM, Martín-González F (eds) *Contribución de la Geología al Análisis de la Peligrosidad Sísmica*, p.: 159-162.
- Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Medialdea, T., López-González, N., Mata, M.P., Palomino, D. y Somoza, L.**, 2012. Influencia de la Actividad Diapírica Reciente en el Campo de Gas Somero del Prodelta del Guadalquivir. *III Simposio Internacional de Ciencias del Mar (ISMS12)*, Abstracts, p. 104, Cádiz (24/27, Enero).
- Fernández-Puga, M.C., J.T. Vázquez, J.T., Roque, C., Alonso, B., Medialdea, T., Palomino, D., Ercilla, G., Díaz-del-Río, V. y Somoza, L.**, 2014. Morphological features of the Portimao Bank Seamount (NW Gulf of Cadiz Margin) related to Pliocene-Quaternary activity. *IV Simposium Internacional de Ciencias del Mar, Las Palmas de Gran Canaria*, del 11 al 13 de junio.
- Fernández-Puga, M.C.; Vázquez, J.T.; Sánchez-Guillamón, O.; Pajarón, L.; Fernández-Salas, L.M.; Palomino, D.; Díaz del Río, V.**, 2014. Evidences of contemporary tectonic activity along the eastern Gulf of Cadiz continental shelf and upper slope (SW Iberian Peninsula). En: *Una aproximación multidisciplinar al estudio de las fallas activas, los terremotos y el riesgo sísmico* (J.A. Álvarez-Gómez y F. Martín-González, Eds.), pp. 85-88. Segunda reunión ibérica sobre fallas activas y paleosismología, Lorca, (Murcia, España). DOI: 10.13140/2.1.5066.7526
- Fernández-Salas, L.M., Somoza, L., Díaz del Río, V., Vázquez, J.T., Terrinha, P., Medialdea, T., Maestro, A., León, R., Fernández-Puga, M.C., Llave, E., García, M. y Alveirinho Dias, J.M.**, 2003. Rasgos morfoestructurales de los conos de fango de las dorsales diapíricas del Golfo de Cádiz. *4th Symposium on the Atlantic Iberina Continental Margin*, (Eds. Vilas, F, Rubio, B., Diez, J.B., Frances, G., Bernabeu, M.A., Fernández, E., Rey, D. y Rosón, G.), *Thalassas*, vol. 19 (2b), 233-234.
- Fernández-Salas, L.M.**, 2011. Informe de campaña INDEMARES/Chica 0211. Instituto Español de Oceanografía.
- Fernández-Salas, L.M.**, 2011. Informe de campaña INDEMARES/Chica 1011. Instituto Español de Oceanografía.
- Fernández-Salas, L.M.**, 2011. Plan de campaña INDEMARES/Chica 0211. Instituto Español de Oceanografía.
- Fernández-Salas, L.M.**, 2011. Plan de campaña INDEMARES/Chica 1011. Instituto Español de Oceanografía.
- Fernández-Salas, L.M., Sánchez-Leal, R., Rueda, J.L., López-González, N., González-García, E., López-Rodríguez, F.J., Bruque, G., Vázquez, J.T. y Díaz-del-Río, V.** 2012. Interacción entre las masas de agua, los relieves submarinos y la distribución de especies bentónicas en el talud continental del Golfo de Cádiz. En: *Resúmenes extendidos del VIII Congreso Geológico de España*. Oviedo, del 17 al 19 de julio, p: 198 (4pp). *CD anexo a Geo-Temas 13* (Fernández, L.P., Fernández, A., Cuesta, A. y Bahamonde, J.R., eds), p. 569-572.
- Fernández-Salas, L.M.**, 2012. Informe de campaña INDEMARES/Chica 0412. Instituto Español de Oceanografía.
- Fernández-Salas, L.M.**, 2012. Plan de campaña INDEMARES/Chica 0412. Instituto Español de Oceanografía.
- Fernández-Zambrano, A.**, 2010. Comunidades bentónico-demersales de diferentes zonas de un volcán de fango del Golfo de Cádiz (Suroeste de España). Universidad de Barcelona y Universidad Politécnica de Cataluña. *Master en Ciencias del Mar: Oceanografía y Gestión del Medio Marino*. Directores: Dr. José L. Rueda, Dr. Víctor Díaz del Río y Dr. Ben de Mol. 39pp.
- Fernández-Zambrano, A., Rueda, J.L., González-García, E., Farias, C., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. Fauna marina de los volcanes de fango en aguas gaditanas. *Quercus*, vol. 314: 34-39.
- García, M., Díaz del Río, V., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Llave, E., Alveirinho Dias, J.M. and Fernández-Puga, M.C.**, 2001. Rasgos morfoestructurales del Canal de Cádiz (Talud Medio del Golfo de Cádiz): Influencia de los factores oceanográficos durante el Plio-Cuaternario. *Vª Reunión del Cuaternario Ibérico*. Volumen de Resúmenes, pp.: 210-213.
- García, M.**, 2002. Caracterización morfológica del sistema de canales y valles submarinos del talud medio del Golfo de Cádiz (SO de la Península Ibérica): implicaciones

- oceanográficas. *Tesis de Licenciatura*, Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar, 114 pp.
- García, M., Alonso, B., Vázquez, J.T., Ercilla, G., Palomino, D., Estrada, F., Fernández-Puga, M<sup>a</sup>.C., López-González, N., y Roque, C.,** 2014. Morphological characterization of contourite and mass-wasting recent processes at the Guadalquivir Bank Margin uplift, Gulf of Cadiz. In: David Van Rooij, Andres Rüggeberg (Eds) Book of Abstracts 2nd Deep-Water Circulation Congress: The Contourite Log-book. Ghent, Belgium, 10-12 September. VLIZ Special Publication vol. 69: 85-86.
- García Raso, J.E., Mateo, A., García Muñoz, J.E., González-García, E., Rueda, J.L., Farias, C., López-González, N., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.,** 2012. Asociaciones de crustáceos decápodos de volcanes de fango y fondos adyacentes en aguas españolas del Golfo de Cádiz. In: Borja Á (ed) *XVII Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM)*, San Sebastián - Donostia (Spain). *Revista de Investigación Marina*, vol. 19(6): 269-270.
- Gardner, J.V. y Kidd, R.B.,** 1983. Sedimentary process on the Iberian continental margin viewed by long-range side scan sonar. Part 1: Gulf of Cadiz. *Oceanologica Acta*, vol. 6 (3): 245-254.
- Gibert, J.M., Rejas, M., Taberner, C., Mata, P., Díaz del Río, V., Somoza, L.,** 2005. Ichnotaphonomic history of carbonate concretions from the Gulf of Cádiz. *2nd International Meeting TAPHOS'05*, Barcelona, 16-18 Junio.
- Gil, J., Baro, J., Canoura, J., Díaz-del-Río, V., Farias, C., Fernández-Salas, L. M., Fernández-Puga, M<sup>a</sup>. C., García, T., Palomino, D., Serna-Quintero, J. M., Sayago, M. y Sobrino, I.,** 2007. Main benthic ecosystem features surrounding the "Laberinto" (Gulf of Cádiz, SW Iberian Peninsula): geoenvironmental and faunistic compounds in relation to habitats. *Reunión GLOBEC-IMBER España*, Valencia, del 28 al 31 de marzo, *Abstracts*, pp.: 60.
- Gil Herrera, J., Rueda, J.L., Delgado, M., Burgos, C., Farias, C., González-García, E., Díaz del Río, V.,** 2011. The INDEMARES CHICA Project: A proposal to make habitat mapping and biodiversity inventory in the Gulf of Cádiz. *2011 ICES Annual Science Conference*, Gdansk (Poland)
- Gislason, H., y Rice, J.,** 1998. Modelling the response of size and diversity spectra of fish assemblages to changes in exploitation. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 55: 362-370.
- Gofas, S., Rueda, J.L., Salas, C. y Díaz del Río, V.,** 2010. A new record of the giant deep-sea oyster *Neopycnodonte zibrowii* in the Golfo of Cádiz (south-western Iberian Peninsula). *Marine Biodiversity Records*, Marine Biological Association of the United Kingdom (Published online), vol. 3: 1-4.
- González, F.J., Somoza, L., Lunar, R., Martínez-Frías, J., Martín Rubí, J.A., Torres, T., Ortiz, J.E., Díaz del Río, V., Pinheiro, L.M. & Magalhaes, V.H.,** 2009. Hydrocarbon-derived ferromanganese nodules in carbonate-mud mounds from the Gulf of Cadiz: Mud-breccia sediments and clasts as nucleation sites. *Marine Geology*, vol. 261: 64-81.
- González, F.J., Somoza, L., Lunar, R., Martínez-Frías, J., Martín-Rubí, J.A., Torres, T., Ortiz, J.E. y Díaz del Río, V.,** 2010. Internal features, mineralogy and geochemistry of ferromanganese nodules from the Gulf of Cadiz: The role of the Mediterranean Outflow Water undercurrent. *Journal of Marine Systems*, vol. 80: 203-218
- González, C.; Jiménez, M.P., Sánchez, R. y Sánchez-Leal, R.,** 2012. Composición y abundancia del ictioplancton presente en el neuston en aguas del Golfo de Cádiz. *International Symposium in Marine Sciences*. Cádiz (España), 24-27 de enero.
- González-García, E.,** 2011. Recursos pesqueros y comunidades bentónico-demersales asociadas a los volcanes de fango del Golfo de Cádiz. Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar. *Master en Acuicultura y Pesca: recursos marinos y sostenibilidad*. Director: Dr. José L. Rueda Ruíz y Dr. Juan Gil. 60pp+12 anexos.
- González-García, E., Gil Herrera, J., Rueda, J.L., Farias, C., Fernández-Zambrano, A., López-González, N., Fernández-Salas, L.M., Díaz del Río, V. y Burgos, C.,** 2011. Habitats and associated benthic-demersal communities of mud volcanoes and adjacent zones in the Gulf of Cádiz (southern Iberian Peninsula). *2011 ICES Annual Science Conference*, Gdansk (Poland)

- González-García, E., Marina, P., Rittierott, C., López González, P.J., Megina, C., López González, N., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L. y Díaz-del-Río, V.,** 2012. Cold water corals in a mud volcano field of the Spanish margin (Gulf of Cádiz): spatial distribution and associated biodiversity. *7º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica (MIA12)*, Lisboa (Spain)
- González-García, E., Rueda, J.L., Farias, C., Gil Herrera, J., Bruque, G., García Raso, J.E., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.,** 2012. Comunidades bentónico-demersales en caladeros de los volcanes de fango del golfo de Cádiz: Caracterización y actividad pesquera. In: Borja Á (ed.) *XVII Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM)*, San Sebastián - Donostia (Spain). *Revista de Investigación Marina*, vol. 19(6): 377-380.
- González-García, E., Rueda, J.L., Gil Herrera, J., Farias, C., Mateo, A., García-Raso, J.E., López-González, N., Bruque, G., Fernández-Salas, L.M. y Díaz-del-Río, V.,** 2012. Comparación de las comunidades bentónico-demersales de volcanes de fango en aguas españolas del Golfo de Cádiz. *III International Symposium in Marine Sciences (ISMS12)*, Cádiz (Spain).
- Grousset, F.E., Joron, J.L., Biscaye, P.E., Latouche, C., Treuil, M., Maillet, N., Faugères, J.C. y Gonthier, E.,** 1988. Mediterranean outflow through the Strait of Gibraltar since 18.000 years B.P.: mineralogical and geochemical arguments. *Geo-Marine Letters*, vol.8: 25-34.
- Guerra, A.,** 1982. Cefalópodos capturados en la campaña "Golfo de Cádiz-81". *Res. Exp. Cient. BO Cornide*, vol. 10: 17-49.
- Haffert, L., Haekel, M., Liebetrau, V., Berndt, C., Hensen, C., Nuzzo, M., Reitz, A., Scholz, F., Schönfeld, J., Pérez García, C. y Weise, S.M.,** 2013. Fluid evolution and authigenic paragenesis related to salt diapirism. The Mercator mud volcano in the Gulf of Cadiz. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 106: 261-286.
- Heezen, B.C. y Johnson, G.L.,** 1969. Mediterranean undercurrent and microphysiography west of Gibraltar. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, vol. 67 (1382): 95 pp.
- Hernandez-Molina, F.J., Somoza, L., Lobo, F.J., Roque, C. y Díaz-del-Río, V.,** 1998a. Quaternary stratigraphy on the continental margin of the Gulf of Cadiz (Southwestern Iberia). Abstract to: *International Sedimentological Congress, IAS*. Alicante (Spain). *Abstracts*: p.423. University of Alicante.
- Hernandez-Molina, F.J., Somoza, L., Lobo, F.J., Díaz del Río, V. y Roque, C.,** 1998b. Seismic Stratigraphy of the South Iberian Continental Shelf and Slope: an hypothesis for Quaternary high resolution sequences stratigraphy. Abstract to: *Workshop on Strata and Sequences on Shelves and Slopes*. Sicilia.
- Hernández-Molina, F.J., Somoza, L. y Lobo, F.J.,** 2000. Seismic stratigraphy of the Gulf of Cadiz continental shelf: a hypothesis for Late Quaternary very high-resolution sequence stratigraphy. En: *Sedimentary responses to forced regression: recognition, interpretation and reservoir potential* (Hunt, D. & Gawthorpe, R., Eds.). Geological Society London Special Publication. vol. 172: 329-361.
- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Somoza, L., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A., León, R., Medialdea, T., Barnolas, A., García, M., Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Alveirinho Dias, J.M., Rodero, J. y Gardner, J.,** 2003. Looking for clues to palaeoceanographic imprints: a diagnosis of the Gulf of Cadiz contourite depositional system. *Geology*, vol. 31 (1): 19-22.
- Hernández-Molina, F.J. y Lobo, F.J.,** 2005. Geomorfología del Golfo de Cádiz. *Mapa Geomorfológico de España, E.1:1.000.000*. IGME, Memoria Explicativa, pp.: 211-218.
- Hernández-Molina, F. J.; Llave, E.; Stow, D.A.V.; García, M.; Somoza, L.; Vázquez, J.T.; Lobo, F.; Maestro, A.; Díaz del Río, V.; León, R. ; Medialdea, T. y Gardner, J.,** 2006. The Contourite Depositional System of the Gulf of Cadiz: a sedimentary model related to the bottom current activity of the Mediterranean Outflow Water and the continental margin characteristics. *Deep Sea Research II*, vol. 53: 1420-1463.
- Hernández-Molina, F.J., Serra, N., Stow, D.A.V., Llave, E., Ercilla, G. y Van Rooij, D.,** 2011. Along-slope oceanographic processes and sedimentary products around the Iberian

- margin. *Geo-Marine Letters*, vol. 31 (5-6): 315-341.
- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Preu, B., Ercilla, G., Fontan, A., Bruno, M., Serra, N., Gomiz, J.J., Brackenridge, R.E., Sierro, F.J., Stow, D.A.V., García, M., Juan, C., Sandoval, N. y Arnaiz, A.**, 2014. Contourite processes associated with the Mediterranean Outflow Water after its exit from the Strait of Gibraltar: Global and conceptual implications. *Geology*, vol. 42 (3): 227-230.
- Jiménez, M.P.**, 2002. Aplicación de análisis multivariante para la obtención y estandarización de esfuerzos pesqueros en pesquerías multiespecíficas. Las pesquerías demersales del Golfo de Cádiz. *Tesis Doctoral*. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Cádiz.
- Jiménez, M.P., Sobrino, I. y Ramos, F.**, 2004. Objective methods for defining mixed-species trawl fisheries in Spanish waters of the Gulf of Cadiz. *Fisheries Research*, vol. 67: 195-206.
- Jiménez, M.P., Romero, Z. y Sobrino, I.** 2005. Los recursos pesqueros del Golfo de Cádiz: sector litoral de Huelva. *Informe final*. Instituto Español de Oceanografía. 120 pp.
- Jiménez, M.P., Baldó, F., Romero, Z., Catalán, J.I. García-Isarch, E. y Sánchez, R.**, 2005. Spatial characterization of early life stages distribution of three commercially important species of fish in the Gulf of Cadiz (SW Spain). *29th Annual larval fish conference*. Barcelona (España), 11-14 de julio. pp.: 64.
- Jiménez, M.P. y Romero, Z.**, 2007. Characterization of the spawning and nursery habitats of small pelagic fishes in the Gulf of Cadiz. I *International Symposium of Marine Sciences-GLOBEC-IMBER*. Valencia (España), 28-31 de marzo.
- Jiménez, M.P. y Romero, Z.**, 2007. Characterization of nursery habitats of the crustaceans *Melicerus kerathurus* and *Squilla mantis* in the Gulf of Cadiz. I *International Symposium of Marine Sciences-GLOBEC-IMBER*. Valencia (España), 28-31 de marzo.
- Jiménez, M.P., Romero, Z. y Muñoz, I.**, 2008. Size distribution of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) larvae in the Gulf of Cádiz. *8th Biology Larval Symposium*. Lisboa (Portugal), 6-11 de julio.
- Jiménez, M.P. y Romero, Z.**, 2009. Ecología de los primeros estadios de desarrollo de especies de interés pesquero en el área ICES (ECOPLANC). *Informe Final*. Instituto Español de Oceanografía.
- Jiménez, M.P., González, C., Sánchez-Leal, R., García-Isarch, E. y García, A.**, 2010. Characterization of Guinea Bissau's surface ichthyoplankton and its main hydrographic features. *XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina*. Alicante (España), 6-10 de septiembre.
- Jiménez, M.P., Ramos, F., Sánchez-Leal, R. y González, C.**, 2012. Variación interanual de la extensión del área de puesta del boquerón (*Engraulis encrasicolus*) en el Golfo de Cádiz. *International Symposium in Marine Sciences*. Cádiz, 24-27 de enero.
- Jiménez, M.P., González, C. y Sánchez-Leal, R.**, 2012. Distribución y abundancia de larvas de mugílidos en la mitad oriental del Golfo de Cádiz. *International Symposium in Marine Sciences*. Cádiz, 24-27 de enero.
- Judd, A. y Hovland, M.**, 2007. Seabed fluid flow. The impact on Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge University Press, UK, 475pp.
- León, R., Somoza, L., Ivanov, M.K., Díaz del Río, V., Lobato, A., Hernández-Molina, F.J., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A., Medialdea, A., Alveirinho Dias, J.M. y Vázquez, J.T.**, 2005. Sea bed morphology and gas venting in the Gulf of Cadiz mud volcano area: imagery of multibeam data and ultra high resolution data. *Intergubernamental Oceanographic Comisión*, Workshop Report, vol. 175: 43-45.
- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., Maestro, A., Díaz-del-Río, V., Fernández-Puga, M.C.**, 2006. Classification of sea-floor features associated with methane seeps along the Gulf of Cádiz continental margin. *Deep-Sea Research*, vol. II (53): 1464-1481.
- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., González, F.J., Díaz-del-Río, V., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A. y Mata, M.P.**, 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*, vol. 27: 237-247.
- León, R., Somoza, L., Medialdea T, Hernández-**

- Molina, F.J., Vázquez, J.T., Díaz-del-Río, V. y González, F.J.**, 2010. Pockmarks, collapses and blind valleys in the Gulf of Cádiz. *Geo-Marine Letters*, vol. 30: 231-247.
- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., Vázquez Garrido, J.T., González, F.J., López-Gonzalez, N., Casas, D., Mata, M.P., Fernández-Puga, M.C., Jiménez-Moreno, C.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. New discoveries of mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cádiz): morpho-structural characterization. *Geo-Mar. Lett.*, vol. 32: 473-488.
- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., Vázquez, J.T., López-González, N., González, F.J., Casas, D., Fernández-Puga, M.C. y Díaz del Río, V.**, 2012. Morpho structural features of episodio mud volcanism in the Gula of Cadiz. *VIII Congreso Geológico de España*, Oviedo, del 17 al 19 de julio, p: 208 (4pp).
- León, R.; Somoza, L.; Medialdea, T.; Vázquez, J.T.; González, F.J.; López-González, N.; Fernández-Puga, M.C.; Giménez-Moreno, C.J. y V. Díaz-del-Río** 2012. Morpho-Structural Characterization of the New Mud Volcanoes discovered during Mvseis-08 Cruise in the Atlantic Moroccan Margin (Gulf of Cádiz). III Simposio Internacional de Ciencias del Mar (ISMS12), Abstracts, p. 63, Cádiz (24/-27, Enero)
- Llave, E.**, 1998. Estratigrafía sísmica de las unidades sedimentarias cuaternarias en la Bahía de Cádiz: consideraciones paleoceanográficas. *Thesis of Graduation*. Faculty of Marine Sciences. University of Cádiz. 247 pp.
- Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., Stow, D.A.V., Maestro, A. y Alveirinho Dias, J.M.**, 2001. Seismic stacking pattern of the Faro-Albufeira contourite system (Gulf of Cadiz): A Quaternary record of palaeoceanographic and tectonic influences. *Marine Geophysical Researches*, vol. 22: 475-496.
- Lobo, F. J.**, 1995. Estructuración y evolución morfosedimentaria de un sector del margen continental septentrional del Golfo de Cádiz durante el Cuaternario terminal. *Thesis of Graduation*. Faculty of Marine Sciences. University of Cádiz. 200 pp.
- López-Gonzalez, N.**, 2010. Informe de Campaña INDEMARES/Chica o610. Instituto Español de Oceanografía.
- López-Gonzalez, N.**, 2010. Plan de campaña INDEMARES/Chica o610. Instituto Español de Oceanografía.
- Magalhaes, V., Pinheiro, L., Ivanov, M., Kozlova, E., Blinova, V., Kolganova, J., Vasconcelos, C., McKenzie, J.A., Bernasconi, S.M., Kopf, A., Díaz del Río, V., González, F.J. y Somoza, L.**, 2012. Formation processes of methane-derived authigenic carbonates from the Gulf of Cadiz. *Sediment. Geol.*, vol. 243-244:155-168.
- Martos-Villa, R.**, 2013. Interacción de filosilicatos tipo 2:1 con hidratos de gas. Caracterización, síntesis y modelización molecular. Tesis Doctoral dirigida por los Drs. M<sup>a</sup> Pilar Mata Campo y C. Ignacio Sáinz Díaz. *Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales*, 324pp.
- Mata, M.P., López-González, N.**, 2012. Geoquímica de Elementos Traza y Tierras Raras en Sedimentos Marinos del Margen Marroquí del Golfo de Cádiz. *Macla*, vol. 16: 102-103.
- Mata, M.P., Casas, D., López-González, N. y CADHYS Team.**, 2012. Análisis sedimentario de sedimentos hemipelágicos en volcanes de fango del Golfo de Cádiz, a partir del estudio del color y su correlación con la composición determinada por XRF-core scanner. *VIII Congreso Geológico de España*, Oviedo, del 17 al 19 de julio, p: 212 (4pp).
- Mata, M.P., López-González, N.**, 2012. Geoquímica de Elementos Traza y Tierras Raras en Sedimentos Marinos del Margen Marroquí del Golfo de Cádiz. XXXII Reunión Científica de la Sociedad Española de Mineralogía & XXII Reunión Científica de la Sociedad Española de Arcillas, Bilbao, del 27 al 30 de junio. *Macla* 16, 102-103.
- Mateos, M. and Arroyo, G.M.** 2011. Seguimiento sistemático de los patrones de atracción de las aves marinas a los arrastreros en el Golfo de Cádiz, España (periodo 2005 – 2008). En: Valeiras, X., G. Muñoz, A. Bermejo, J.M. Arcos y A.M. Paterson (Eds.): *Actas del 6º Congreso del GIAM y el Taller internacional sobre la Ecología de Paños y Paredas en el sur de Europa*. Boletín del Grupo Ibérico de Aves Marinas. Pp. 91-93.
- Medialdea, T.**, 2004. Estructura y evolución tectónica del Golfo de Cádiz. *Tesis Doctoral*,

- Facultad de Geología, Universidad Complutense, 280 pp.
- Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz del Río, V., Maestro, A., Córdoba, D. y Fernández-Puga, M.C.**, 2004. Structure and evolution of the Olistostroma complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cadiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, vol. 209: 173-198.
- Medialdea, T., Somoza, L., Pinheiro, L., Fernández-Puga, M.C., Vázquez Garrido, J.T., León, R., Ivanov, M., Magalhaes, V., Díaz del Río, V. y Vegas, R.**, 2009. Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cádiz. *Marine Geol.*, vol.:261: 48-63
- Merinero, R.**, 2008. Procesos mineralógicos y geoquímicas en chimeneas submarinas de carbonatos metanógenos del Golfo de Cádiz: biogeomarcadores framboidales de sulfuros y oxihidróxidos de hierro. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geología, 2212pp + anexos.
- Merinero, R., Lunar, R., Somoza, L., Díaz del Río, V. y Martínez-Frías, J.**, 2009. Nucleation, growth and oxidation of framboidal pyrite associated with hydrocarbon-derived submarine chimneys: lessons learned from the Gulf of Cadiz. *Europ. J. Mineral.*, vol. 21 (5), 947-961.
- Merinero, R., Ruiz-Bermejo, M., Menor-Salván, C., Lunar, R. y Martínez-Frías, J.**, 2012a. Tracing organic compounds in aerobically altered methane-derived carbonate pipes (Gulf of Cadiz, SW Iberia). *Sedimentary Geology*, vol. 263-264, pp.: 174 – 182.
- Merinero, R., Lunar, R. y Martínez-Frías, J.**, 2012b. Mechanisms of trace metal enrichment in submarine, methane-derived carbonate chimneys from the Gulf of Cadiz. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 112, pp.: 297-305.
- Milucka, J., Ferdelman, T.G., Polerecky, L., Franzke, D., Wegener, G., Schmid, M., Lieberwirth, I., Wagner, M., Widdel, F y Kuypers, M.M.M.**, 2012. Zero-valent sulphur is a key intermediate in marine methane oxidation. *Nature*, vol. 491: 541- 546.
- Navarro G., Ruíz J., Huertas I.E., García C.M., Criado-Aldeanueva F. y Echevarría F.**, 2006. Basin-scale structures governing the position of the deep fluorescence maximum in the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Research II.*, vol. 53: 1261-1281.
- Nelson, C.H. y Lamothe, P.J.**, 1993. Heavy metal anomalies in the Tinto and Odiel River and estuary system, Spain. *Estuaries*, vol. 16 (3A): 496-511.
- Nelson, C. H., Baraza, J. y Maldonado, A.**, 1993. Mediterranean undercurrent sandy contourites, Gulf of Cadiz, Spain. In: D.A.V. Stow and J.C. Faugetes (Editors), Contourites and Bottom Currents. *Sediment. Geol.*, vol. 82: 103-131.
- Nelson, C.H., Van Geen, A., Lamothe, P.J. y Palanques, A.**, 1997. Significant post-industrial revolution heavy metal contamination in river, estuary and marine shelf sediment from the Rio Tinto mines (SW Spain). *2º Simposio sobre el Margen Continental Ibérico Atlántico*. Resúmenes: 357-358. University of Cadiz (Spain).
- Oporto, T.**, 2012. Bentos de los volcanes de fango del Golfo de Cádiz: características e interaccionjes biológico-ambientales. Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar. *Master en Oceanografía*. Director: Dr. José L. Rueda Ruíz y Dra. Nieves López González.
- Oporto, T., Marina, P., López, F.J., Fernández-Zambrano, A., Bruque, G., González-García, E., Sánchez, O., López, E., Moreira, J., Gofas, S., García Raso, J.E., Fernández-Salas, L.M., López-González, N., Rueda, J.L. y Díaz del Río, V.**, 2012. Caracterización sedimentológica y faunística de las cimas de volcanes de fango del margen español (Golfo de Cádiz). *VII Simpósio sobre Margem Iberica Atlântica - MIA12*, Lisboa (Portugal).
- OSPAR**, 2004. Descriptions of habitats on the initial list of OSPAR threatened and/or declining species and habitats. *OSPAR Convention for the protection of the marine environment of the north-east Atlantic*. 20 pp.
- Ostariz, A.**, 2012. Rasgos Morfoestructurales del Talud Superior del Golfo de Cádiz: red de canales y su relación con los fenómenos de expulsión de fluidos. Tesis de Grado. Universidad Católica de Valencia. Directores: Dr. Luis Miguel Fernández Salas y Dr. Víctor Díaz-del-Río Español. Tutor: Prof. Dr. Javier Alcántara Carrió.

- Palomino, D., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., López-González, N., Rueda, J.L. y Díaz del Río, V.**, 2014. Geomorphological characteristics of pipoca mud volcano linked to recent geological processes in the gulf of Cádiz continental margin. IV Simposium Internacional de Ciencias del Mar, Las Palmas de Gran Canaria: 11 al 13 de junio.
- Palomino, D., Vázquez, J.T., Rueda, J.L., Fernández-Salas, L.M., López-González, N., Díaz-del-Río, V.**, 2014. Seabed morphology and bottom water masses related to benthic habitats at the Cristóbal Colón diapir (NW of the Guadalquivir ridge, Gulf of Cádiz). In: David Van Rooij, Andres Rüggeberg (Eds) Book of Abstracts 2nd Deep-Water Circulation Congress: The Contourite Log-book. Ghent, Belgium, 10-12 September. VLIZ Special Publication 69: 119-120.
- Pedrouzo, L., Cobo, M.C., García Alvarez, O., Urgorri, V., Rueda J.L., Barrio L., Losada, M.T., Señarís, M.P., Díaz Agras, G. y Candás, M.**, 2012. Moluscos Solenogastros de la campaña INDEMARES/CHICA(Golfo de Cádiz). Datos sobre su anatomía y ecología. En: Borja Á (ed) XVII Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM), San Sebastián - Donostia (Spain). *Revista de Investigación Marina*, vol. 19(6): 280-281.
- Peliz, A., Marchesiello, P., Dubert, J., Teles-Machado, A.M., Marta-Almeida y Le Cann, B.**, 2009. Surface Circulation in the Gulf of Cadiz. Part 2: Inflow/outflow coupling and the Gulf of Cadiz Slope Current. *Journal of Geophysical Research*, vol. 114: C03011.
- Pérez-Martín, E.**, 2010. Estudio morfológico de la plataforma interna en el sector comprendido entre la playa de Camposoto y la Isla de Sancti Petri (Margen continental del Golfo de Cádiz). Tesis de Master, *Master de Oceanografía*. Universidad de Cádiz. Directores: Dr. Juan T. Vázquez Garrido y Dra. M<sup>a</sup>. C. Fernández Puga. 60pp.
- Pérez Martín, E.; Fernández-Puga, M.C. y Vázquez, J.T.**, 2012. Morfología de un Sector de la Plataforma Continental Interna del Golfo de Cádiz. III Simposio Internacional de Ciencias del Mar (ISMS12), Book of Abstracts, p. 125, Cádiz (24/-27, Enero).
- Pineda, J.M.** 2011. Análisis Morfológico de la Dorsal Diapírica de Cádiz. Tesis de Master, *Master de Oceanografía*. Universidad de Cádiz. Directores: Dr. Juan T. Vázquez Garrido y Dra. M<sup>a</sup>. C. Fernández Puga. 60pp.
- Pineda, J.M.; Fernández-Puga, M.C.; Vázquez, J.T. y Medialdea, T.**, 2012. Análisis Morfológico de la Dorsal Diapírica de Cádiz en el Talud Medio del Golfo de Cádiz. III Simposio Internacional de Ciencias del Mar (ISMS12), Abstracts, p. 103, Cádiz (24/-27, Enero)
- Ramos, F., Sobrino, I. y Jiménez, M.P.**, 1996. Cartografía temática de caladeros de la flota de arrastre en el Golfo de Cádiz. *Informaciones Técnicas*, 45/96. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 44 pp.
- Reul, A., Muñoz, M., Criado-Aldeanueva, F. y Rodríguez, V.**, 2006. Spatial distribution of phytoplankton  $\leq 13 \mu\text{m}$  in the Gulf of Cádiz in relation to water masses and circulation pattern under westerly and easterly wind regimes. *Deep Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography*, vol. 53: 1294-1313.
- Rittierott, C.C.**, 2012. Biodiversidad en los volcanes de fango del Golfo de Cádiz. Memoria de Estancia en prácticas de 1<sup>o</sup> Ciclo. Universidad de Osnabrück (Baja Sajonia, Alemania). Directores: Dr. José L. Rueda Ruíz y Dr. Víctor Díaz del Río Español.
- Rittierott, C.C.**, 2013. Hábitats y comunidades bentónicas en volcanes de fango del Golfo de Cádiz: Caracterización mediante imágenes submarinas y muestreos de fauna y sedimento. Tesis de Licenciatura. Universidad de Osnabruck, Alemania. Directores: Dr. Jose Luis Rueda Ruiz y Dra. Nieves López González. Supervisor: Dr. Víctor Díaz-del-Río Español.
- Romero, Z., Jiménez, M.P. y Muñoz, I.**, 2008. Distribution pattern of the common octopus (*Octopus vulgaris*) paralarvae abundance in the Gulf of Cadiz. Characterization of the nursery habitat. *8<sup>th</sup> Biology Larval Symposium*. Lisboa (Portugal), 6-11 de julio.
- Romero, Z., Jiménez, M.P., Sánchez, R. y Moreno, A.**, 2007. Spatial and temporal distribution of eggs and larvae abundance of important commercial species in the Gulf of Cádiz. I *International Symposium of Marine Sciences-GLOBEC-IMBER*. Valencia (España), 28-31 de marzo.
- Ritger, S., Carson, B. y Suess, E.**, 1987. Methane-derived authigenic carbonates formed by subduction-induced pore-water expulsión

- along the Oregon/Washington margin. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 98 (2): 147-156.
- Rueda, J.L., Díaz del Río, V., López-González, N., Grupo Indemares/Chica**, 2010. Preferencia y uso de micro-hábitats en bivalvos asociados a chimeneas y enlosados de volcanes de fango del Golfo de Cádiz. *XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina*, Alicante.
- Rueda, J.L., Díaz del Río, V., López-González, N., Sayago Gil, M., Grupo Indemares/Chica**, 2010. Cuantificación de macrofauna sésil y móvil en volcanes de fango del Golfo de Cádiz mediante fotografía submarina. *XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina*, Alicante.
- Rueda, J.L., Fernández-Zambrano, A., Gofas, S., Salas, C., Gil Herrera, J., González-García, E., Farias, C., López-González, N. y Díaz del Río, V., Indemares-Chica Team**, 2011. Molluscan fauna in a mud volcano from the Gulf of Cadiz (southern Iberian Peninsula) *World Conference on Marine Biodiversity*, Aberdeen, Scotland (UK).
- Rueda, J.L., Fernández-Zambrano, A., Gofas, S., Salas, C., Urra, J., Farias, C., González, E., López González, N., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V., Indemares-Chica Team**, 2011. Preliminary characterization of molluscan assemblages in Spanish mud volcanoes and adjacent bottoms (Gulf of Cadiz). *6ª Congress of the European Malacological Societies*, Vitoria-Gasteiz (Spain).
- Rueda, J.L., Gil Herrera, J., Farias, C., González-García, E., Fernández-Zambrano, A., López-González, N., García Raso, J.E., Gofas, S. y Díaz del Río, V., Indemares-Chica Team** 2011. Benthic communities of a mud volcano from the Gulf of Cadiz (southern Iberian Peninsula). *World Conference on Marine Biodiversity*, Aberdeen, Scotland (UK).
- Rueda, J.L., Gil Herrera, J., González-García, E., Farias, C., López-González, N. y Díaz del Río, V.**, 2011. First record of *Hacelia superba* (Echinodermata: Asteroidea) on the European continental margin. *Marine Biodiversity Records*, vol. 4: 1-5.
- Rueda, J.L., Urra, J., Gofas, S., López-González, N., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. New records of recently described chemosymbiotic bivalves for mud volcanoes within the European waters (Gulf of Cádiz). *Mediterranean Marine Science*, vol. 13/2: 262-267.
- Rueda, J.L., Gil Herrera, J., González-García, E., Farias, C., López-González, N. y Díaz del Río, V.**, 2012. Mud volcano fauna. *Global Marine Environment Spring* 2012, vol. 15: 20-21.
- Rueda, J.L., Díaz del Río, V., Sayago Gil, M., López-González, N., Fernández-Salas, L.M. y Vázquez, J.T.**, 2012. Fluid Venting Through the seabed in the Gulf of Cadiz (SE Atlantic Ocean, Western Iberian Peninsula): Geomorphic Features, Habitats, and Associated Fauna. In: Harris, P.T., Baker E.K. (ed.) *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*, pp.: 831-841.
- Rueda, J.L., González-García, E., Farias, C., López-González, N., López, F.J., Vázquez Garrido, J.T., Gil Herrera, J. y Díaz del Río, V.**, 2012. Comunidades Bentónico-Demersales de un campo de gas somero del Golfo de Cádiz. *International Symposium in Marine Science*, Cádiz (Spain)
- Rueda, J.L., González-García, E., Marina, P., López, F.J., Farias, C., Bruque, G., Urra, J., López González, P.J., Megina, C., Gofas, S., García Raso, J.E., Salas, C., López-González, N., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. Heterogeneidad bentónica en volcanes de fango del margen Español (Golfo de Cádiz). In: Borja Á (ed) *XVII Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM)*, San Sebastián - Donostia (Spain). *Revista de Investigación Marina*, vol. 19(6): 213-217.
- Rueda, J.L., González-García, E., Marina, P., Oporto, T., Rittierott, C., López-González, N., Farias, C., Moreira, J., López, E., Megina, C., López González, P.J., García Raso, J.E., Gofas, S., Salas, C., Bruque, G., López, F.J., Vázquez Garrido, J.T., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. Biodiversity and geodiversity in the mud volcano field of the Spanish margin (Gulf of Cádiz). *7º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica (MIA12)*, Lisboa (Portugal)
- Rueda, J.L., González-García, E., Urra, J., Oporto, T., Gofas, S., García Raso, J.E., López-González, N., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. Chemosymbiotic species associated with mud breccia sediments from mud volcanoes within Spanish waters (Gulf of Cadiz). In: Borja Á (ed) *XVII*



- Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM)*, San Sebastián - Donostia (Spain). Revista de Investigación Marina, vol. 19(6): 312-314.
- Sánchez-Leal, R. F. y Relvas, P.**, 2003. Spring-summer climatological circulation in the upper layer in the region of cape St. Vincent, SW Portugal, *ICES Journal of Marine Science*, vol. 60:1232-1250.
- Sánchez-Leal, R., González-Pola, C., Ruiz, M., Peliz, A., Fernández-Salas, L.M., García Lafuente, J., Lavín, A.**, 2012. Recent observations of the Mediterranean water in the Eastern Gulf of Cadiz: flow-topography interactions. *European Geosciences Union General Assembly Geophysical Research Abstracts*, Viena.
- Sánchez-Guillamón, O., Vázquez Garrido, J.T., Fernández-Puga, M.C., Medialdea, T., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2012. Estructuras tectónicas del Pleistoceno Superior-Holoceno de un sector de la plataforma continental del Golfo de Cádiz (SO de Iberia). *7º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica (MIA12)*, Lisboa (Portugal).
- Sánchez-Guillamón, O.**, 2012. Caracterización de las estructuras recientes en la plataforma continental del Golfo de Cádiz. Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar. *Master en Oceanografía*. Director: Dr. Juan Tomás Vázquez y Dra. M<sup>a</sup> C. Fernández-Puga. 60pp.
- Sánchez-Guillamón, O.**, 2012. Caracterización de estructuras recientes en la plataforma continental del Golfo de Cádiz. Tesis de Master de Investigación, Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, 60pp.
- Sánchez-Guillamón, O., Vázquez, J.T., Fernández-Puga, M.C., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V.**, 2014. Analysis and characterization of modern tectonic structures of Gulf of Cádiz continental shelf (SW Iberian Peninsula). IV Simposium Internacional de Ciencias del Mar, Las Palmas de Gran Canaria, del 11 al 13 de junio.
- Sánchez-Guillamón, O.; Vázquez, J.T.; Fernández-Puga, M.C.; Fernández-Salas, L.M.; Díaz del Río, V.**, 2014. Caracterización de fallas normales activas en la plataforma continental del Golfo de Cádiz (SO de la Península Ibérica). En: Una aproximación multidisciplinar al estudio de las fallas activas, los terremotos y el riesgo sísmico (J.A. Álvarez-Gómez y F. Martín-González, Eds.), pp. 129-132. Segunda reunión ibérica sobre fallas activas y paleosismología, Lorca, (Murcia, España). DOI: 10.13140/2.1.2283.5205.
- Sardá, F., Valladares, F. y Abelló, P.**, 1982. Crustáceos decápodos y estomatópodos capturados durante la campaña "Golfo de Cádiz-81". *Res. Exp. Cient. BO Cornide*, vol.10: 89-100.
- Sayago-Gil, M., Pérez-García, C., Vázquez, J.T., Hernández-Molina, F.J., Fernández-Salas, L.M., Alveirinho-Diaz, J.M., Díaz-del-Río, V. y Somoza, L.**, 2008. Slides on the flanks of submarine canyons places in the upper slope of the Algarve. *Thalassas*, vol. 24 (1): 65-72.
- Segado, M., Gutierrez-Más, J.M., Hidalgo, F., Martínez, J.M. and Cepero, F.**, 1984. Estudio de los sedimentos recientes de la plataforma continental gaditana entre Chipiona y Cabo Roche. *Bol. Geolog. y Min.*, XCV-IV: 310-324.
- SEO/BirdLife.** 2007. *Metodología para censar aves por transectos en mar abierto*. Documento preparado en el marco del proyecto Áreas Importantes para las Aves (IBA) marinas en España (LIFE04NAT/ES/000049), a cargo de SEO/BirdLife. <http://www.seo.org/media/docs/MetodologíaTransectos1.pdf>
- SEO/BirdLife.** 2014. Trabajo de aves marinas durante el Proyecto LIFE+ INDEMARES: Pasos hacia una red de ZEPAs marinas consistente y bien gestionada. Informe de síntesis. Proyecto LIFE07NAT/E/000732.
- Silva, L., Gil, J. y Sobrino, I.**, 2002. Definition of fleet components in the Spanish artisanal fishery of the Gulf of Cádiz (SW Spain ICES division IXa). *Fisheries Research*, vol.1367: 1-12.
- Somoza, L., Díaz del Río, V., León, R., Ivanov, M., Fernández-Puga, M.C., Gardener, J.M., Hernández-Molina, F.J., Pinheiro, L.M., Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vázquez, J.T., Medialdea, T. y Fernández-Salas, L.M.**, 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology*, vol. 195 (1/4): 153-176.

- Stow, D.A.V., Pudsey, C.J., Howe, J.A., Faugères, J.C. y Viana, A. (eds)**, 2002. Deep-water contourite systems: modern drifts and ancient series, seismic and sedimentary characteristics. *Geological Society of London Memoirs*, 472 pp.
- Stow, D.A.V., Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Sayago, M., Díaz del Río, V. y Branson, A.**, 2009. Bedform-velocity matrix: the estimation of bottom current velocity from bedform observations. *Geology*, vol. 37(4):327–330.
- Stow, D.A.V., Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Bruno, M., García, M., Díaz del Río, V., Somoza, L. y Brackenridge, R.E.**, 2013. The Cádiz Contourite Channel: Sandy contourites, bedform and current interaction. *Marine Geology*, vol. 343: 99-114.
- Tasker, M.L., P. Hope Jones, T. Dixon y B.F. Blake.** 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and suggestion for a standardized approach. *The Condor* 101: 567-577.
- Van Rooij, D., De Mol, L., Le Guilloux, E., Réveillaud, J., Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Léon, R., Estrada, F., Mienis, F., Moeremans, R., Blamart, D., Vanreusel, A. y Henriot, J.P.**, 2010. Influence of the Mediterranean outflow water on benthic ecosystems: answers and questions after a decade of observations. *Geo-Temas*, vol. 11:179–180.
- Vargas, J.M., Sarhan, T., Plaza, F., Pérez de Rubín, J. y García-Martínez, M.C.**, 2002. The influence of tide-topography interaction on low-frequency heat and nutrient fluxes. Application to Cape Trafalgar. *Continental Shelf Research*, vol. 22: 115-139.
- Vargas, J.M., García Lafuente, J., Delgado, J. y Criado, F.**, 2003. Seasonal and wind-induced variability of sea surface temperature patterns in the Gulf of Cadiz. *Journal of Marine Systems*, vol. 38: 205-219.
- Vázquez, J.T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Maestro, A., Roque, C., Vegas, R. y Alveirinho, J.M.**, 1998a. Neotectónica y sismicidad en el Margen Continental Suribérico Atlántico. *Iª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. Abstracts: p. 156.
- Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Fernandez-Puga, M<sup>a</sup>.C., Hernandez-Molina, F.J., Somoza, L. y Díaz del Río, V.**, 1998b. Tectonic control on the Quaternary depositional sequences over the North-Eastern continental margin of the Gulf of Cadiz (SW Iberia). Abstract to: *Workshop on Strata and Sequences on Shelves and Slopes*. Sicilia.
- Vázquez, J.T., Fernández-Puga, M.C., Medialdea, T., Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Llave, E., Lobo, F.J., Lopes, F.C., Maldonado, A., Somoza, L., Palomino, D.**, 2010. Fracturación normal durante el Cuaternario Superior en la Plataforma Continental Septentrional del Golfo de Cádiz (SO de Iberia). En: Insua JM, Martín-González F (eds). *Contribución de la Geología al Análisis de la Peligrosidad Sísmica*, p. : 179-182
- Vázquez, J.T., López-González, N., Fernández-Salas, L.M., Díaz del Río, V., Fernández-Puga, M.C., Palomino, D., Mata, M.P., Bárcenas, P., Sayago Gil, M., Bruque, G., López, F.J.**, 2010. Nuevos datos de actividad tectónica durante el Pleistoceno Superior – Holoceno en el Sector Oriental de la Plataforma Continental del Golfo de Cádiz (SO de Iberia). En: Insua JM, Martín-González F. (Eds.) *Contribución de la Geología al Análisis de la Peligrosidad Sísmica*, p.: 183-186.
- Vázquez, J.T.; Fernández-Puga, M.C.; Medialdea, T.; López-González, N.; Mata, M.P.; Palomino, D. y L. Somoza** 2012. El Diapiro de San Fernando en la Plataforma Continental de Cádiz: Estudio Mediante Nuevos Datos Batimétricos de Alta Resolución. III Simposio Internacional de Ciencias del Mar (ISMS12), Volumen de Abstracts, p. 126, Cádiz (24/-27, Enero, 2012).
- Vegas, R., Medialdea, T., Muñoz, M., Díaz del Río, V. y Somoza, L.**, 2004. Nature and tectonic setting of the Guadalquivir Bank (Gulf of Cádiz, SW Iberian Península) *Rev. Soc. Geol. Esp.*, vol. 17 (1/2): 285-291.
- Vila, Y., Silva, L., Millán, M., Ramos, F., Gil, J. y Jiménez, M.P.**, 2004. Los recursos pesqueros del Golfo de Cádiz: estado actual de explotación. *Informe Técnico*, Instituto Español de Oceanografía, 196pp.

Publicaciones de la serie

## **Áreas de estudio del proyecto LIFE+ INDEMARES**

- 1.- Espacio Marino de Alborán (ESZZ16005).
- 2.- Banco de la Concepción (ESZZ15001).
- 3.- Espacio Marino del Oriente y Sur de Lanzarote-Fuerteventura (ESZZ15002).
- 4.- Canal de Menorca (ESZZ16002).
- 5.- Volcanes de fango del golfo de Cádiz (ESZZ12002).
- 6.- Sistema de cañones submarinos occidentales del golfo de León (ESZZ16001).
- 7.- Banco de Galicia (ESZZ12001).
- 8.- Sur de Almería - Seco de los Olivos (ESZZ16003).
- 9.- Espacio Marino de Illes Columbretes (ESZZ16004).
- 10.- Sistema de Cañones Submarinos de Avilés (ESZZ12003).

## Áreas de estudio del proyecto LIFE+ INDEMARES

### Fundación Biodiversidad

España es uno de los países más ricos en términos de biodiversidad marina de toda Europa. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente trabaja para conservar nuestros mares, compatibilizando los usos y actividades económicas.

Por este motivo, el Ministerio, a través de la Fundación Biodiversidad y con la cofinanciación de la Comisión Europea, puso en marcha en 2009 el proyecto LIFE+ INDEMARES con el objetivo de investigar, dar a conocer y proteger en el marco de la Red Natura 2000 grandes áreas marinas de competencia de la Administración General del Estado, cuya selección se basó en criterios científicos que mostraban la importancia de las mismas.

La presente monografía se enmarca en una serie de 10 publicaciones en las que se detallan los resultados de la investigación de estas áreas.



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



OCEANA

SECAC  
SECRETARÍA DE ESTADO DE POLÍTICA Y PLANIFICACIÓN AGROPECUARIA, GANADERA Y PESQUERA

60 años  
SEO  
BirdLife

