

**1180**

## **ESTRUCTURAS SUBMARINAS PRODUCIDAS POR EL ESCAPE DE GASES**

**COORDINADOR**

María Pilar Mata

**AUTORES**

María Pilar Mata, María del Carmen Fernández-Puga y Francisco J. Pérez-Outeiral

Esta ficha forma parte de la publicación **Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España**, promovida por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

#### Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo.

#### Realización y producción



#### Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo y Francisco Melado Morillo.

#### Coordinación técnica

Juan Carlos Simón Zarzoso.

#### Colaboradores

Presentación general: Roberto Matellanes Ferreras y Ramón Martínez Torres. Edición: Cristina Hidalgo Romero, Juan Párbole Montes, Sara Mora Vicente, Rut Sánchez de Dios, Juan García Montero, Patricia Vera Bravo, Antonio José Gil Martínez y Patricia Navarro Huercio. Asesores: Íñigo Vázquez-Dodero Estevan y Ricardo García Moral.

#### Diseño y maquetación

Diseño y confección de la maqueta: Marta Munguía.

Maquetación: Do-It, Soluciones Creativas.

#### Agradecimientos

A todos los participantes en la elaboración de las fichas por su esfuerzo, y especialmente a Antonio Camacho, Javier Gracia, Antonio Martínez Cortizas, Augusto Pérez Alberti y Fernando Valladares, por su especial dedicación y apoyo a la dirección y a la coordinación general y técnica del proyecto.

Las opiniones que se expresan en esta obra son responsabilidad de los autores y no necesariamente de la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

**Coordinador:** M. P. Mata<sup>1</sup>.

**Autores:** M. P. Mata, M. C. Fernández-Puga<sup>1</sup> y F. J. Pérez-Outeiral<sup>1</sup>.

**Colaboradora:** Soledad García-Gil<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Univ. de Cádiz, <sup>2</sup>Univ. de Vigo.

**A efectos bibliográficos la obra completa debe citarse como sigue:**

VV.AA., 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

**A efectos bibliográficos esta ficha debe citarse como sigue:**

MATA, M. P., FERNÁNDEZ, M. C. & PÉREZ-OUTEIRAL, F. J., 2009. 1180 Estructuras submarinas producidas por el escape de gases. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 61 p.

**Primera edición, 2009.**

**Edita:** Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica.  
Centro de Publicaciones.

NIPO: 770-09-093-X

ISBN: 978-84-491-0911-9

Depósito legal: M-22417-2009

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. PRESENTACIÓN GENERAL</b>                                   | 7  |
| <b>1.1.</b> Código y nombre                                      | 7  |
| <b>1.2.</b> Descripción                                          | 7  |
| <b>1.3.</b> Distribución geográfica y variedades regionales      | 18 |
| <b>2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA</b>                              | 21 |
| <b>2.1.</b> Regiones naturales                                   | 21 |
| <b>2.2.</b> Factores biofísicos de control                       | 22 |
| <b>2.3.</b> Subtipos                                             | 32 |
| <b>2.4.</b> Exigencias ecológicas                                | 33 |
| <b>3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>                  | 41 |
| <b>3.1.</b> Determinación y seguimiento de la superficie ocupada | 41 |
| <b>3.2.</b> Evaluación de la estructura y función                | 41 |
| <b>4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN</b>                   | 43 |
| <b>5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>                             | 45 |
| <b>5.1.</b> Líneas prioritarias de investigación                 | 45 |
| <b>6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA</b>                  | 47 |
| <b>7. FOTOGRAFÍAS</b>                                            | 53 |





# 1. PRESENTACIÓN GENERAL

## 1.1. CÓDIGO Y NOMBRE

**1180 Estructuras submarinas producidas por el escape de gases**

## 1.2. DESCRIPCIÓN

Estas estructuras submarinas consisten en costras de sedimentos consolidados, lo que en inglés es llamado *pavements*, que podría traducirse como superficies endurecidas o pavimentos, y estructuras columnares de hasta de 4 m. Estas estructuras están formadas por la precipitación de carbonatos formados por la oxidación anaeróbica bacteriana de los gases, principalmente metano, emitidos por los sedimentos.

Estas construcciones están intercaladas con puntos que de forma intermitente emiten gas. El origen del metano es principalmente biogénico, debido a la descomposición microbiana de plantas fósiles.

El origen del gas que da lugar a estas estructuras es objeto de debate y la determinación de su origen en los diferentes lugares es controvertida. El origen puede deberse en la mayor parte de los casos, tal como viene escrito en la ficha, a procesos de descomposición microbiana de la materia orgánica a poca profundidad (gas metano biogénico), pero también podemos tener contribuciones de gases de procedencia profunda (gas termogénico) ligados a yacimientos de petróleo. Una vez que se produce la migración, se puede generar la mezcla y emisión de ambos gases a la superficie del fondo oceánico e incluso a la atmósfera.

**Código y nombre del tipo de hábitat en anexo I de la Directiva 92/43/CEE**

1180 Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases.

**Definición del tipo de hábitat según el *Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea* (EUR25, abril 2003)**

Spectacular submarine complex structures, consisting of rocks, pavements and pillars up to 4 m high. These formations are due to the aggregation of sandstone by a carbonate cement resulting from microbial oxidation, mainly methane. The methane most likely originated from the microbial decomposition of fossil plant materials. The formations are interspersed with gas vents that intermittently release gas. These formations shelter a highly diversified ecosystem with brightly coloured species.

**Relaciones con otras clasificaciones de hábitat**

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A3.73 Vents and seeps in infralittoral rock

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A4.73 Vents and seeps in circalittoral rock

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A5.7 Features of sublittoral sediments

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A5.71 Seeps and vents in sublittoral sediments

*Palaeartic Habitat Classification 1996*

11.24 Sin definir







Figura 1.2

Panorama submarino de los *bubbling reefs* formados por carbonatos producidos por oxidación anaeróbica de metano, a 12 m de profundidad en la parte norte de Kattegat (Dinamarca). Jensen *et al.*, 1992.

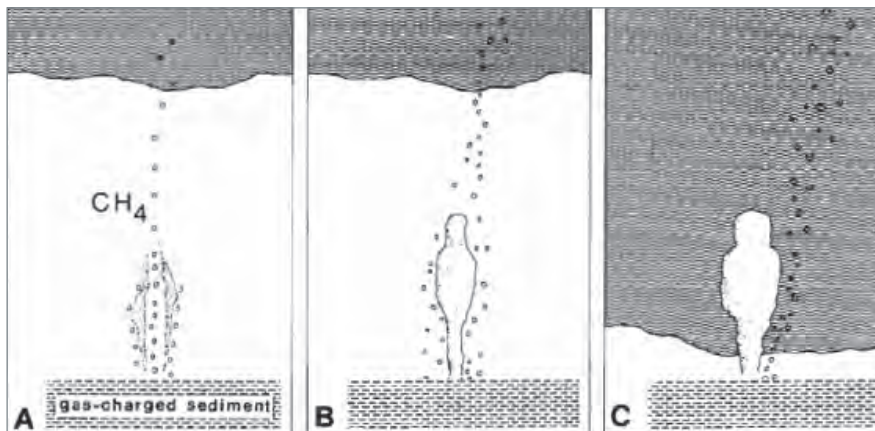


Figura 1.3

**Modelo de formación propuesto para estos arrecifes burbujeantes en Kattegat.**

(A) Precipitación de carbonatos resultado de la oxidación anaeróbica de metano que litifica el sedimento alrededor del canal, (B) cementación del canal, (C) exposición de la estructura como resultado de la erosión del sedimento sin consolidar. Jensen *et al.*, 1992.

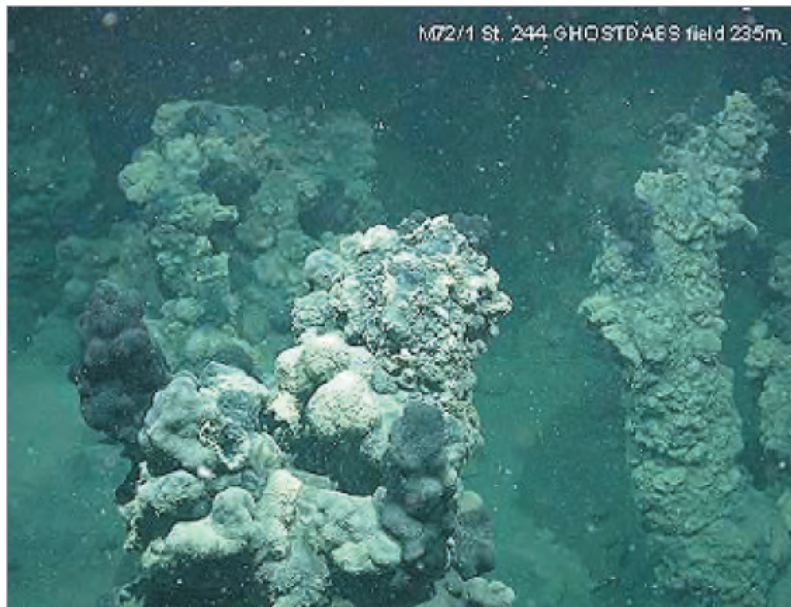
Aunque el proceso de emisión de gases desde los sedimentos había sido descrito anteriormente, hasta el momento no se habían observado estructuras semejantes. Estos autores describieron asimismo la fauna característica encontrada y asociada a los procesos de quimiosíntesis característicos de estas zonas. Posteriormente se han descrito muchos lugares

similares, aunque no de estas dimensiones, en muchos puntos de todos los márgenes continentales. Una síntesis actualizada viene en Judd & Hovland (2007). Además de las colosales estructuras asociadas a este burbujeo del metano, las costras y construcciones de tipo horizontal son, asimismo, muy abundantes.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PORIFERA<br><i>*Cliona celata</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <i>Caulleriella</i> aff. <i>killariensis</i><br><i>Lagisca externuata</i><br><i>Polydora ciliata</i><br><i>Polydora coeca</i><br><i>Polycirrus norwegicus</i>                                                                                                                                                                                                                                                                       | PANTOPODA<br><i>Pallene brevirostris</i>                                                                                                                                                                                                           |
| HYDROZOA<br><i>Eudendrium arbuscula</i><br><i>Hydractinia echinata</i><br><i>Ectopleura larynx</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | OLIGOCHAETA<br>4 spp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | CIRRIPEDA<br><i>*Verruca stroemia</i><br><i>Balanus balanus</i>                                                                                                                                                                                    |
| ANTHOZOA<br><i>*Metridium senile</i><br><i>*Tealia felina</i><br><i>*Alcyonium digitatum</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | GASTROPODA (- Nudibranchia)<br><i>Acmaea virginia</i><br><i>Gibbula cineraria</i><br><i>*Cingula striata</i><br><i>Crepidula fornicata</i><br><i>*Alvania punctura</i><br><i>*Rissoa albella</i><br><i>*Rissoa parva</i><br><i>Rissoa membranacea</i><br><i>Hinia pygmaeus</i><br><i>*Chrysalida spiralis</i><br><i>*Odostomia plicata</i><br><i>Odostomia eulimoides</i><br><i>Retusa truncatula</i><br><i>Philine denticulada</i> | DECAPODA<br><i>Eupagurus bernhardus</i><br><i>*Porcellana longicornis</i><br><i>*Cancer pagurus</i><br><i>Stenorhynchus rostratus</i>                                                                                                              |
| NEMERTEA<br><i>*Emplectonema gracile</i><br><i>Micrura fasciolata</i><br><i>Lineus bilineatus</i><br><i>Prostomatelia obscura</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | NUDIBRANCHIA<br><i>*Goniadoris nodosa</i><br><i>Acanthodoris pilosa</i><br><i>Onchidoris muricata</i><br><i>Archidoris pseudoargus</i><br><i>Coryphella verrucosa</i><br><i>Cuthona foliata</i><br><i>Doto coronata</i><br><i>Jorunna tomentosa</i>                                                                                                                                                                                 | ISOPODA<br><i>Jamira maculosa</i><br><i>Munna minuta</i>                                                                                                                                                                                           |
| POLYCHAETA<br><i>Lepidonotus squamatus</i><br><i>Harmothoe fragilis</i><br><i>Harmothoe</i> aff. <i>ehsabethae</i><br><i>Scalisetosus</i> sp.<br><i>Pholoe inornata</i><br><i>Eulalia viridis</i><br><i>Nereimyra punctata</i><br><i>Typosyllis armillaris</i><br><i>Exogone hebes</i><br><i>Proceratea corneta</i><br><i>Nereis pelagica</i><br><i>Sphaerodorium flavum</i><br><i>Pherusa plumosa</i><br><i>Arenicola marina</i><br><i>*Pomatoceros triqueter</i><br><i>Hydroides norwegica</i><br><i>Sabellaria spinulosa</i><br><i>Heteromastus filiformis</i><br><i>Autolytus prolifer</i><br><i>Nicolea zostericola</i><br><i>Spirobis spirillum</i><br><i>*Dodocateria concharum</i><br><i>Cirratulus incertus</i><br><i>Caulleriella</i> aff. <i>fragilis</i> | BIVALVIA<br><i>Mytilus edulis</i><br><i>Modiolarca tumida</i><br><i>Momia patelliformis</i><br><i>*Heteronomia squamula</i><br><i>*Hiatella</i> sp<br><i>Parvicardium ovale</i><br><i>Mysella bidentata</i><br><i>Kellia suborbicularis</i>                                                                                                                                                                                         | AMPHIPODA<br><i>*Phrissica marina</i><br><i>*Corophium Borelli</i><br><i>Cressa dubia</i><br><i>Microdeutopus propinquus</i><br>2 spp.                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | SIPUNCULIDA<br><i>Golfingia minuta</i>                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | BRYOZOA<br><i>Conopeum seurati</i><br><i>*Crisia eburnea</i><br><i>Scrupocellaria scruposa</i><br><i>Alcyonidium hirsutum</i><br><i>Electra pilosa</i><br><i>Membranipora membranacea</i><br><i>Escharella immersa</i><br><i>Plagioecia patina</i> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ECHINODERMATA<br><i>Ophiopholis aculeata</i><br><i>*Ophiotrix fragilis</i><br><i>Asterias Rubens</i><br><i>Martasterias glaciales</i>                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ASCIDIA<br><i>*Botrylloides leachii</i><br><i>Botryllus schlosseri</i><br><i>Styela coriacea</i>                                                                                                                                                   |

Figura 1.4

Síntesis de la macrofauna encontrada por Jensen et al. (1992) en la zona donde se definieron los *bubbling reefs*.



**Figura 1.5**

**Imagen de una de estas estructuras burbujeantes de metano en el Mar Negro de hasta 5m de longitud.** ©2007 Marum, University of Bremen.



**Figura 1.6**

**Muestreo de una de estas estructuras por un ROV (remoted operated vehicle). Como se observa en este caso las estructuras están parcialmente enterradas.** ©2007 Marum, University of Bremen.

Como viene en la ficha, los rasgos topográficos son variados y se deben a la precipitación de carbonato en el fondo oceánico que atrapa o engloba

los granos de sedimento dando como resultado un sedimento endurecido o costra o *sandstone* (arenisca).

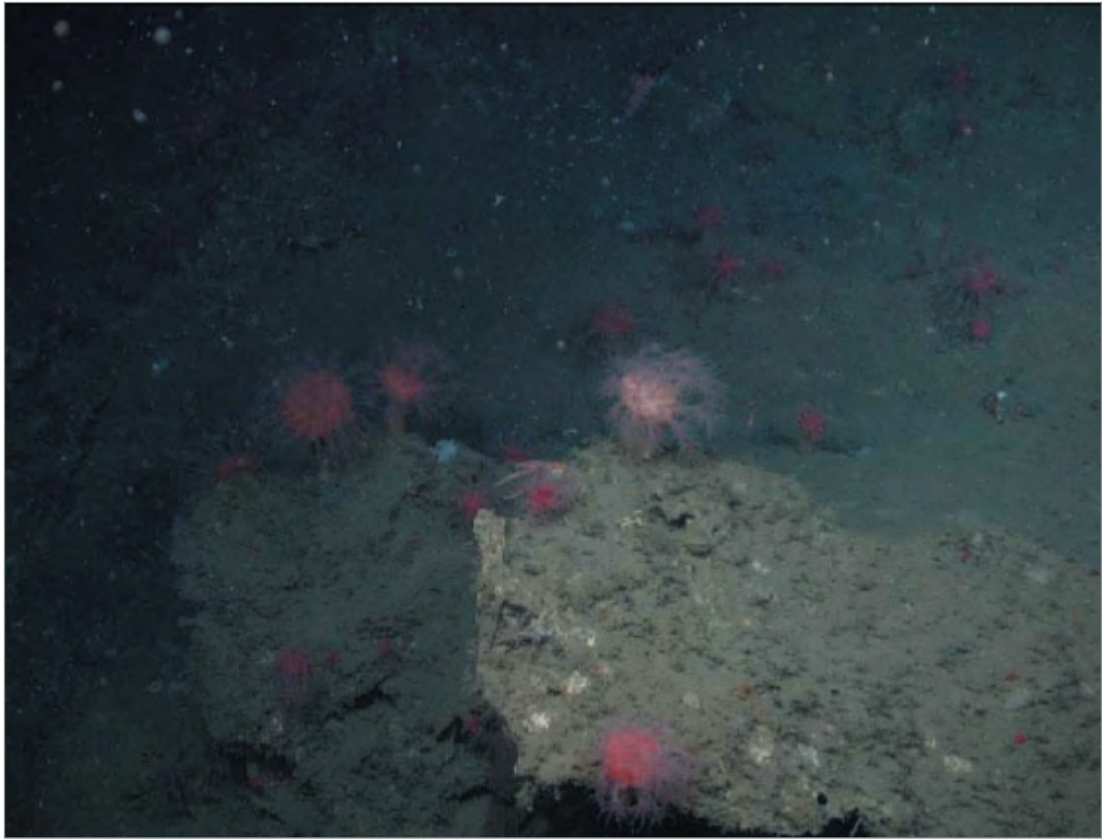


Figura 1.7

***Anthomástus ritteri* (Cnidaria) en rocas carbonatadas producto de la oxidación anaeróbica de metano en Eel R. (500 m de profundidad en Hydrate Ridge, US).**

Imagen tomada de: <http://levin.ucsd.edu/research/metazoan01.htm>

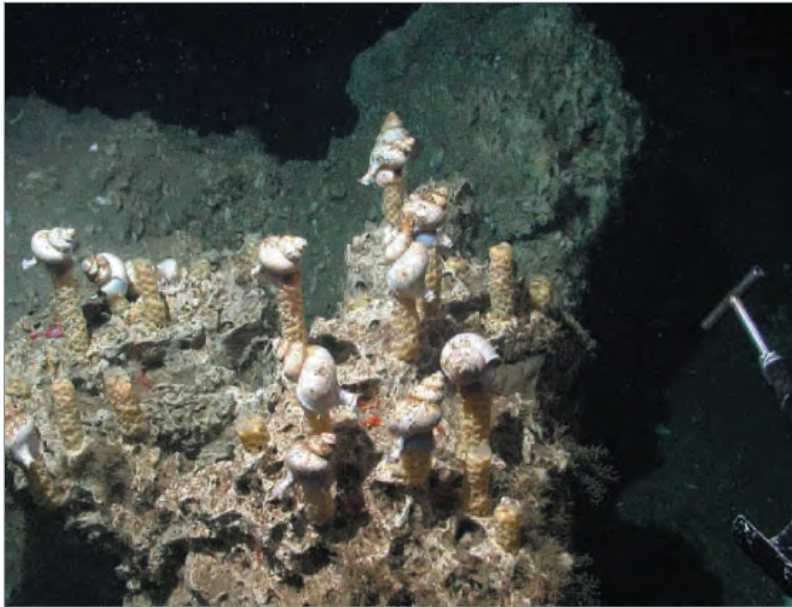


Figura 1.8

***Neptunia amianta* en costras carbonatadas de zonas de emisión de gases (Hydrate Ridge, Margen de Oregon).**

Imagen tomada de: <http://levin.ucsd.edu/research/metazoan01.htm>

El segundo tipo son estructuras carbonatadas dentro de los *pockmarks*. Los *pockmarks* son depresiones en sedimentos marinos blandos de 45 m de profundidad y de hasta cientos de metros de ancho. No todos los *pockmarks* están formados por la emisión de gases y, aquéllos que lo están, pueden no contener estructuras carbonatadas y, por lo tanto, no tendrían que ser incluidas en este tipo de hábitat. Las comunidades bentónicas consisten en invertebrados de sustratos duros y diferentes de los tipos de hábitat circundantes, correspondientes a tipos de hábitat fangosos, aunque la diversidad en estos ambientes puede ser igualmente alta.

#### **Aclaraciones sobre las características y génesis de los *pockmarks***

Los *pockmarks* son depresiones de decenas de metros de largas y unos pocos metros de profundidad que se forman en sedimentos marinos de grano fino. Son estructuras erosivas y el agente erosivo es

el fluido subyacente. Los *pockmarks* son indicadores de eventos de escape de gas, pero no en todos los *pockmarks* existen emanaciones de gas activas. Las emanaciones de gas pueden ocurrir o no con la formación de *pockmarks*. Igualmente existen o no costras carbonatadas.

- La geometría descrita puede ser: circular, elíptica y/o alargada, pueden ser compuestos, asimétricos y, asimismo, se han descrito formando cadenas.
- El perfil característico es en forma de U

Normalmente están ligados a:

- Comunidades quimiosintéticas.
- Altas concentraciones de metano.
- Burbujeo de gas.
- Anomalías de metano en el agua intersticial.
- Plumas de metano en la columna de agua.
- Concreciones carbonatadas.

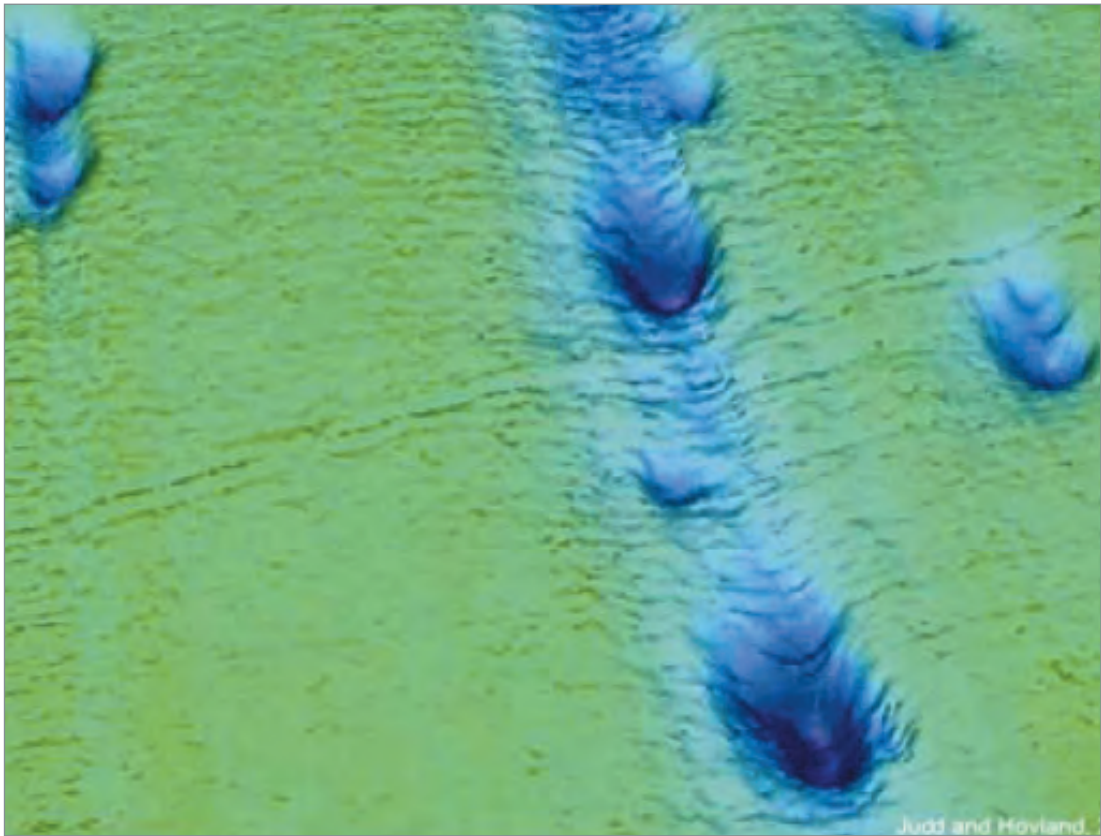


Figura 1.9

Imagen del fondo marino de ecosonda multihaz que muestra *pockmarks* típicos del Mar del Norte.  
(Witch Ground Basin, UK government, Department of Trade and Industry) Judd & Hovland, 2007.

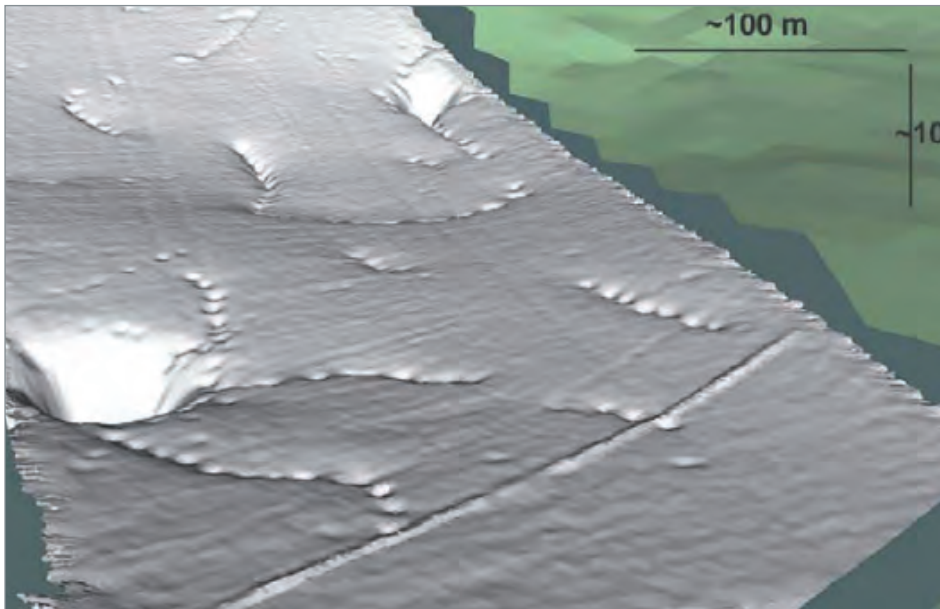


Figura 1.10

Imágenes de cadenas de *pockmarks* en el margen Noruego.

Se puede observar una tubería en la parte inferior de la imagen. Judd & Hovland, 2007.



Figura 1.11

Fotografía submarina de un *pockmark* en Tommeliten field (Block NO1/9, North Sea).

Se puede observar un pequeño biohermo con gran cantidad de desechos o derrubios y otra fauna. Judd & Hovland, 2007.



Figura 1.12

Costras procedentes de la oxidación anaeróbica de metano en la ladera de un *pockmark*. Hovland & Judd, 1988.

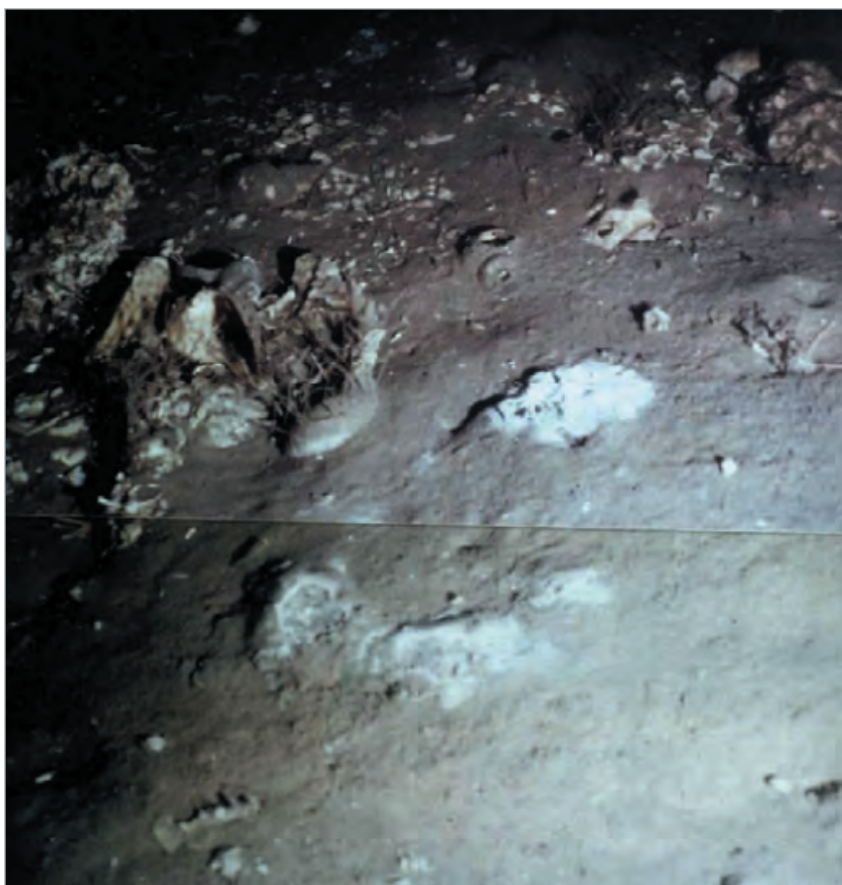


Figura 1.13

Tapetes bacterianos (probablemente *Beggiatoa* spp.) restos de conchas y una variedad de conchas en el centro de un *pockmark*. Los tapetes bacterianos son parches blancos y están indicando las zonas de emisión activa de gases, metano. Hovland y Judd, 1988, en Judd & Hovland, 2007.





Figura 1.14

**Pequeño pockmark de unos 3 m de largo y 1 de ancho donde se observaron los estados iniciales de formación de carbonatos bacterianos (Noruega, North Sea).** Hovland & Judd, 1988, en Judd & Hovland, 2007.

### Tipos de hábitat asociados

Estos tipos de hábitat pueden ser encontrados en asociación con los bancos de arena que están cubiertos por agua del mar siempre (1110 Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda (Bancales sublitorales)) y por los arrecifes (1170).

Este tipo de hábitat está en estrecha relación con el desarrollo de corales de aguas frías y éstos, a su vez, están activamente implicados en el desarrollo de un fenómeno no conocido anteriormente: el desarrollo de montículos de carbonatos gigantes descritos ampliamente en el NE atlántico. Estos montículos son acumulaciones de carbonatos de cientos de metros de espesor que proporcionan diferentes hábitat para esponjas, almejas, otros corales y crustáceos. La alta concentración de corales de agua frías encontrada en

varios puntos del margen atlántico parece estar favorecida por la circulación de corrientes y por factores fisiográficos o por la presencia de sustratos duros que facilitan su colonización. La formación de costras y pavimentos carbonatados producidos por la oxidación anaeróbica de metano constituye un tipo de hábitat perfecto para el desarrollo de estas especies tales como *Lophelia pertusa* (ver revisión en Wheeler *et al.*, 2007). Durante la reunión OSPAR celebrada en Bremen en junio de 2003, los ecosistemas de aguas frías fueron identificados como uno de los más vulnerables y que requieren una acción más inmediata para mitigar la pérdida de biodiversidad. En los puntos de emisión de gases la asociación de corales de aguas frías con el resto de comunidades asociadas al tipo de hábitat 1180 Estructuras submarinas producidas por el escape de gases, es muy grande, dado que las concreciones carbonatadas constituyen el sustrato sobre el que se desarrollan todos estos ecosistemas.

### 1.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y VARIEDADES REGIONALES

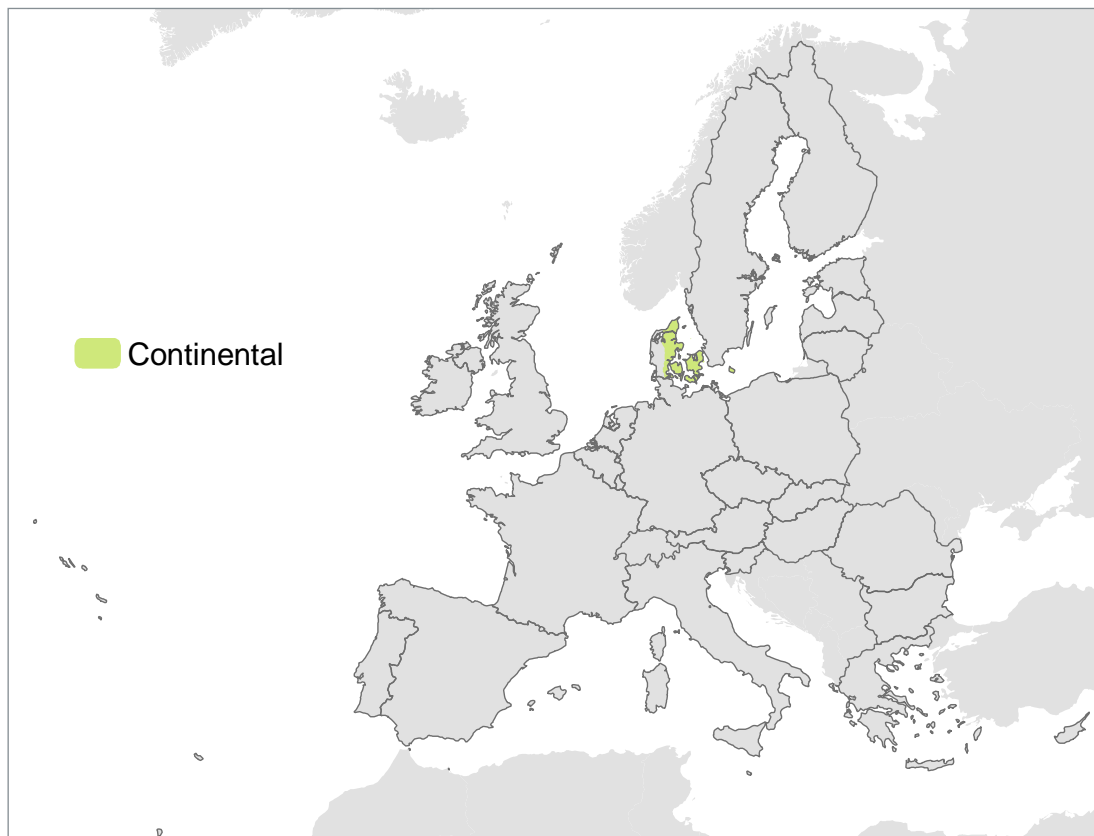


Figura 1.15

**Mapa de distribución del tipo de hábitat 1180 por regiones biogeográficas en la Unión Europea.**  
 Datos de las listas de referencia de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

En aguas de 0 a 30 m de profundidad (litoral y sublitoral) de Dinamarca hay ejemplos de este tipo de arrecifes colonizados por microalgas y otro tipo de organismos. Están presentes en Kattegat y Skagerrak y siguen una dirección NW-SE paralela a la línea de falla Fennoscandia.

Los *pockmarks* se han descrito en muchas áreas de los márgenes europeos (principalmente en zonas de plataforma). *Pockmarks* de aguas profundas con comunidades de fauna bentónica existen aproximadamente a 100 m de profundidad en la parte del Mar del Norte correspondiente al Reino Unido como depresiones en áreas de fondos fangosos. Hay ejemplos de áreas

extensas de *pockmarks* en las costas gallegas (España) en aguas menos profundas comparadas con aquellas descritas en el Mar del Norte. Se han detectado emisiones de gases recientes y *pockmarks* inactivos rellenos con sedimentos.

Otra diferencia con aquellos descritos en la costa danesa es que el origen del gas presente en esta zona es más somero o cercano a la superficie que en dicha costa.

Clasificación HELCOM: todos los tipos bajo “*Bubbling reefs* (2.10)”  
 EUNIS: tipos relevantes bajo A3.C.

### Aclaraciones sobre la localización del tipo de hábitat 1180 en el margen ibérico

La emisión de gas metano desde los sedimentos hacia la superficie del fondo oceánico y de las estructuras resultantes es un descubrimiento relativamente reciente en el margen ibérico español. Este fenómeno se ha descrito en las Islas Baleares, en el Mar de Alborán, Golfo de Cádiz y en las rías de Galicia. Tanto por su magnitud, extensión, como por las comunidades de todo tipo que se están describiendo en estos momentos en esta zona, el Golfo de Cádiz es una de las áreas de mayor interés y donde se han descrito tanto columnas o

pilares carbonatados como *pockmarks* y volcanes de fango. Aunque se han citado igualmente *pockmarks* tanto en el área balear (Acosta *et al.*, 2001) como en las Rías Bajas gallegas (García-García *et al.*, 2004), solamente en el golfo de Cádiz se han descrito extensas zonas con pavimentos y pilares o columnas carbonatadas derivados de la oxidación anaeróbica de metano, que serían el tipo de hábitat 1180 Estructuras submarinas producidas por el escape de gases. En esta ficha se detallarán los datos existentes hasta el momento para la zona del Golfo de Cádiz y brevemente para los correspondientes al margen gallego y la situación de los *pockmarks* en el área balear.

### Principales áreas de emisión de gases del margen ibérico

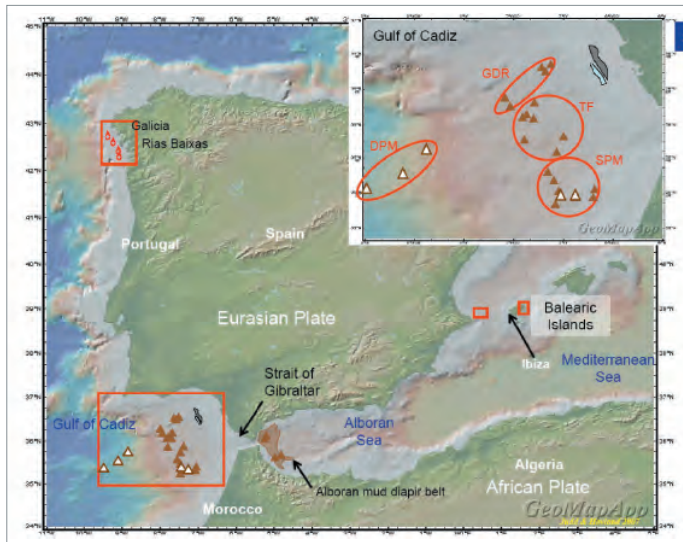
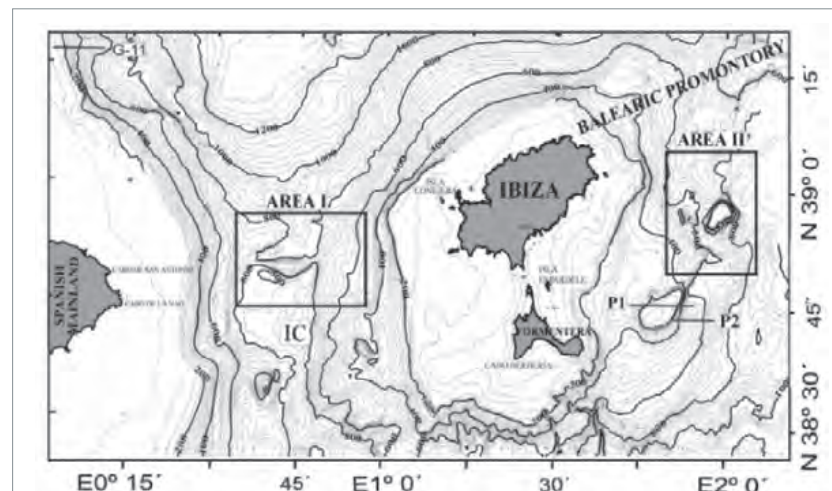


Figura 1.16

Las zonas del Golfo de Cádiz (ampliación del mapa de la parte superior) se pueden dividir en 4 grupos: DPM: The Deep Portuguese Margin field/ GDR: The Gualdalquivir Diapiric Ridge field/ SPM: The Spanish-Moroccan field/ TF: The Tasyo field.

Los rectángulos corresponden a campos de "pockmarks" en las proximidades de la isla de Ibiza. Judd & Hovland, 2007.

Figura 1.17  
Mapa del canal de Ibiza (IC) y del promontorio balear que muestra las áreas I y II donde fueron descubiertos los *pockmarks* por el Instituto Español de Oceanografía durante las investigaciones de la zona económica exclusiva. Mapa modificado de IEO-IHM, 1999a, b. Acosta *et al.*, 2001.



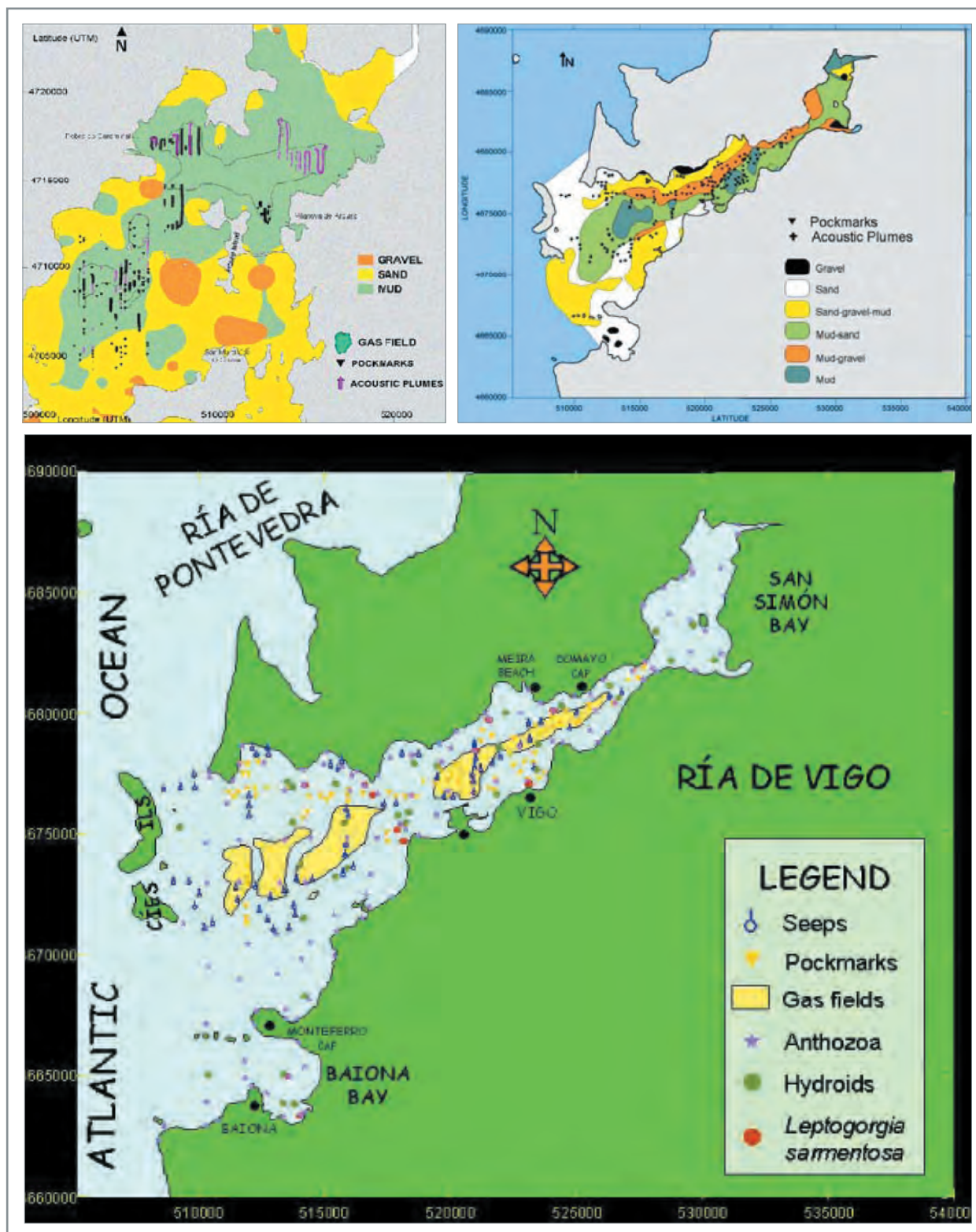


Figura 1.18

Situación de los campos de gas somero y *pockmarks* y fauna asociada en las rías gallegas. García Gil, 2003.

## 2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

### 2.1. REGIONES NATURALES

#### Medio marino

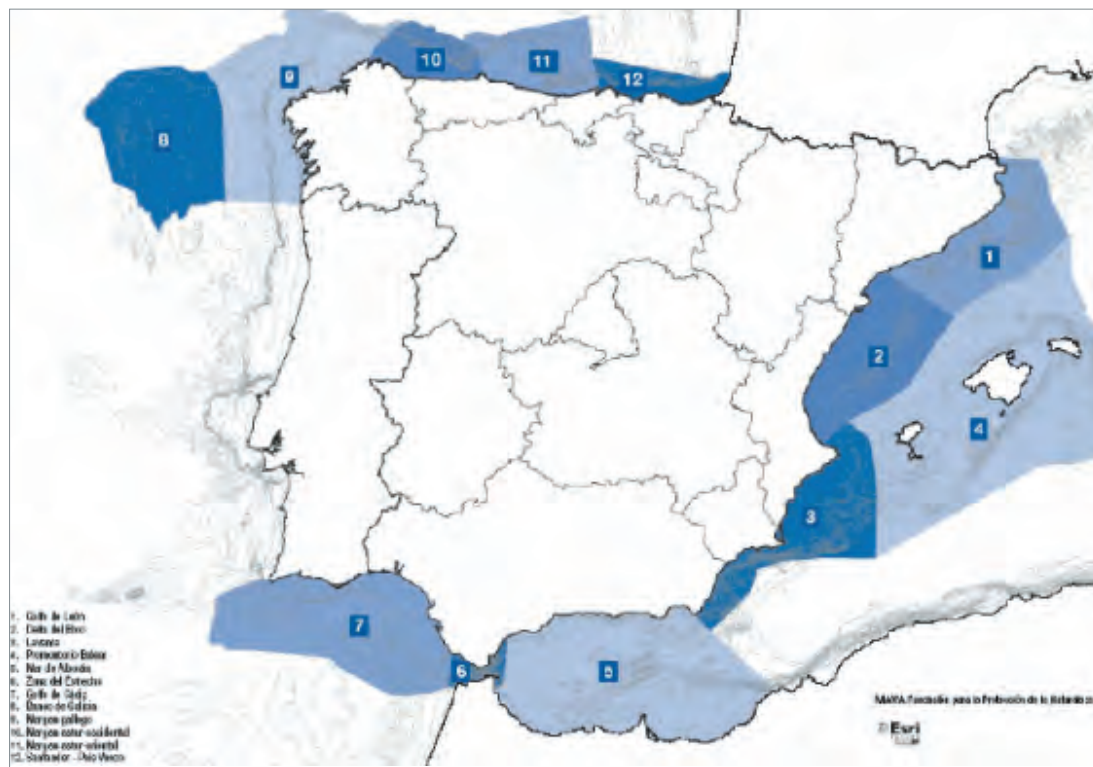


Figura 2.1

#### Mapa con las regiones naturales marinas.

1. Golfo de León, 2. Delta del Ebro, 3. Levante, 4. Promontorio balear, 5. Mar de Alborán, 6. Zona del Estrecho, 7. Golfo de Cádiz, 8. Banco de Galicia, 9. Margen gallego, 10. Margen astur-occidental, 11. Margen astur-oriental, 12. Santander-País Vasco.

Aunque en las zonas correspondientes al Promontorio balear (4), al Mar de Alborán (5) y al Banco de Galicia (8) se han descrito *pockmarks*, en ninguna de las tres se

han encontrado hasta el momento *bubbling reefs* o carbonatos en *pockmarks*, por lo que por el momento no se entrará en el detalle de ninguna de ellas.

## 2.2. FACTORES BIOFÍSICOS DE CONTROL

### Zonas de emisión de fluidos en el Golfo de Cádiz

Existe una clara asociación entre la emisión de fluidos ricos en metano y una actividad biológica anormal en estas zonas. Los últimos trabajos describen que, tanto su composición como su productividad, dependen de los flujos de gas y de factores locales medioambientales. En las zonas de expulsión de gases, las comunidades descritas incluyen grandes invertebrados viviendo en simbiosis con bacterias quimiotróficas que usan el metano y el sulfhídrico como fuente de energía. En áreas de grandes flujos de metano, la biomasa bentónica producida a través de procesos quimiosintéticos puede ser cerca de 1.000 a 50.000 veces mayor que la producida a profundidades similares por procesos fotosintéticos. En los últimos años se ha descubierto que los procesos de quimiosíntesis en algunas zonas del océano son más importantes que lo pensado anteriormente. Sin embargo, la mayor parte de la investigación en estas zonas se está llevando a cabo en la actualidad.

Estos sedimentos con metano, que constituyen el hábitat de comunidades quimiosintéticas de gran interés ecológico, son consorcios bacterianos cuya actividad metabólica da, como principal resultado, la precipitación de carbonatos bacterianos (Barnes & Goldberg, 1976; Boetius *et al.*, 2000; Orphan *et al.*, 2001, Michaelis *et al.*, 2002). Estos microorganismos que viven en los sedimentos marinos consumen gran parte del metano que migra por ellos, impidiendo que éste sea expulsado a la columna de agua y por tanto a la atmósfera (Nieman *et al.* 2006). Alrededor de estos puntos es frecuente encontrar otras especies características como los gusanos tubícolas, almejas gigantes, etc. En España se ha trabajado en estas zonas

y desde el año 2000 se han descrito estos ambientes desde un punto de vista geológico (Somoza *et al.*, 2003) describiendo aspectos tales como el origen, las repercusiones y las manifestaciones de la migración de estos gases sobre el suelo oceánico. Se ha trabajado en las zonas conocidas como *Diasom field* y *Tasyo field*.

Se han descrito volcanes de fango, montículos carbonatados y *pockmarks* (Somoza *et al.*, 2002; Díaz del Río *et al.*, 2003; Somoza *et al.*, 2003, León *et al.* 2006 y 2007, Fernández-Puga *et al.* 2007). En este momento, el número de volcanes de fango descritos ascienden a más de 100 (León *et al.*, 2006, 2007; Medialdea *et al.*, 2004). Se ha estudiado como la tectónica influye en la migración de estos gases y la relación entre los escapes de gas y la dinámica de grandes masas plásticas de materiales salinos y arcillosos que, con frecuencia, constituyen cuerpos diapíricos de muy diversa entidad (Fernández-Puga, 2005; Fernández-Puga *et al.*, 2007). Los volcanes de fango estudiados se pueden considerar como una expresión topográfica del fondo oceánico formada por la emisión de material semifluido, denominado brecha fangosa, durante los períodos de actividad del volcán. Estas estructuras pueden tener dimensiones de hasta 300 m de altura sobre el fondo oceánico. La emisión de material, procedente de zonas profundas, es consecuencia de la migración y erupción de fluidos que contienen principalmente metano, bajo condiciones de sobrepresión (Milkov, 2000; Kopf, 2002). Hasta el momento, además de metano, se han encontrado hidratos de gas en algunos volcanes de fango del margen marroquí (Ginsburg & Bonjardim) (Mazurenko *et al.*, 2002 y 2003; Depreiter *et al.*, 2005) aunque la recuperación de fragmentos de hidratos durante el desarrollo de las campañas y muestreos por los diferentes grupos europeos es cada vez más frecuente.



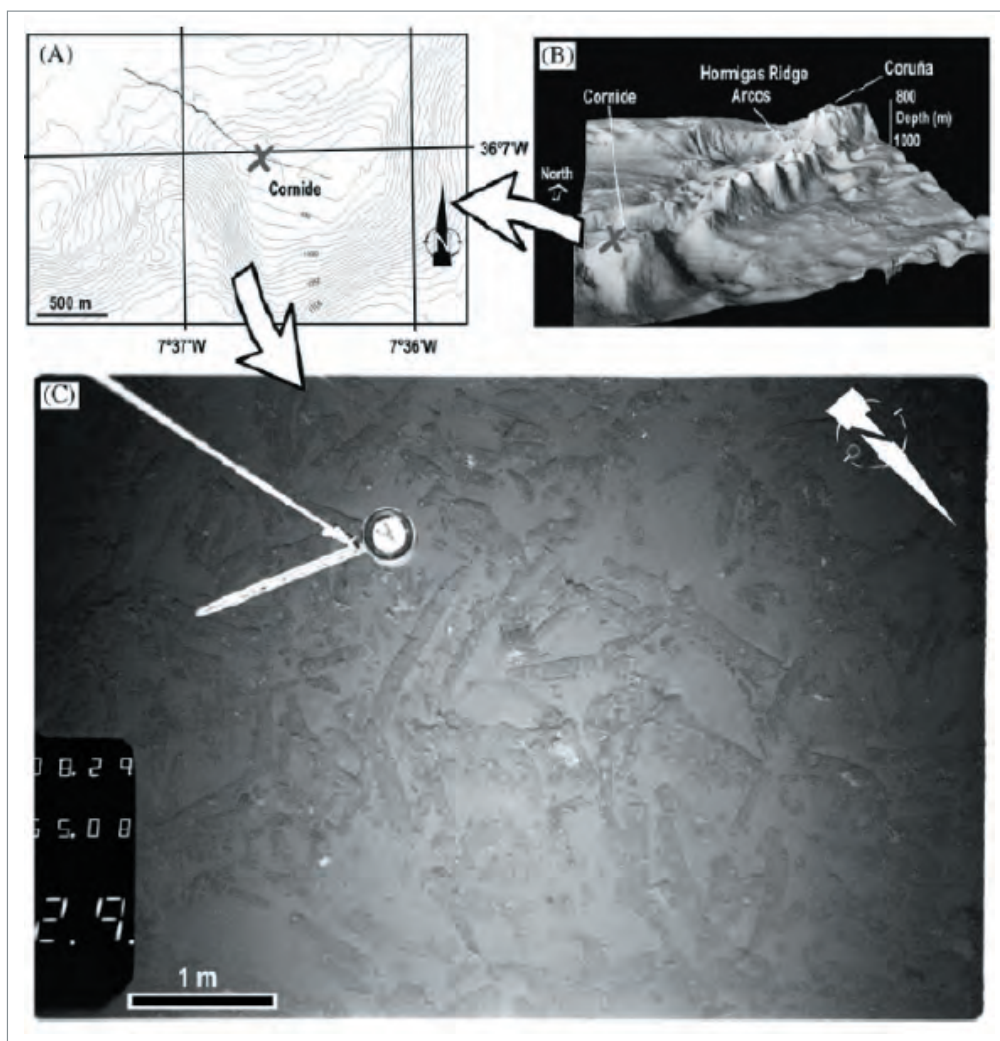
Figura 2.2

Mapa simplificado del Golfo de Cádiz mostrando las unidades geológicas alóctonas denominadas olistostroma (modificado de Medialdea *et al.*, 2004).

En el mapa batimétrico se observan las estructuras ligadas a la emisión de gases (volcanes de fango) identificadas en el Golfo de Cádiz. Los datos de los volcanes de fango están tomados de Ivanov *et al.* (2001), Gardner (2001), Pinheiro *et al.* (2003), Somoza *et al.* (2003). Los montículos carbonatados y los datos de chimeneas están tomados de Diaz del Río *et al.* (2003). León *et al.*, 2006.

Durante estos últimos años ha venido desarrollándose una intensa actividad científica por parte de grupos de investigación nacionales y extranjeros, después de que un grupo de investigación español descubriera (Díaz del Río *et al.*, 2003) en el año 2000, a bordo del B/O Cornide de Saavedra, un inmenso campo de sedimentos gasificados, recubiertos de numerosas estructuras carbonatadas que, en principio, se interpretaron como conductos de escape canalizado del gas

libre hacia la columna de agua. Tanto en la zona de desarrollo de costras carbonatadas como consecuencia de oxidación anaeróbica de metano, como en los *pockmarks* o volcanes de fango, existen fuertes gradientes biogeoquímicos y variabilidad en el sedimento. La presencia de zonas activas intermitentes a diferentes profundidades de la columna de agua también provoca grandes variaciones en la fauna asociada a estos puntos de actividad de fluidos.

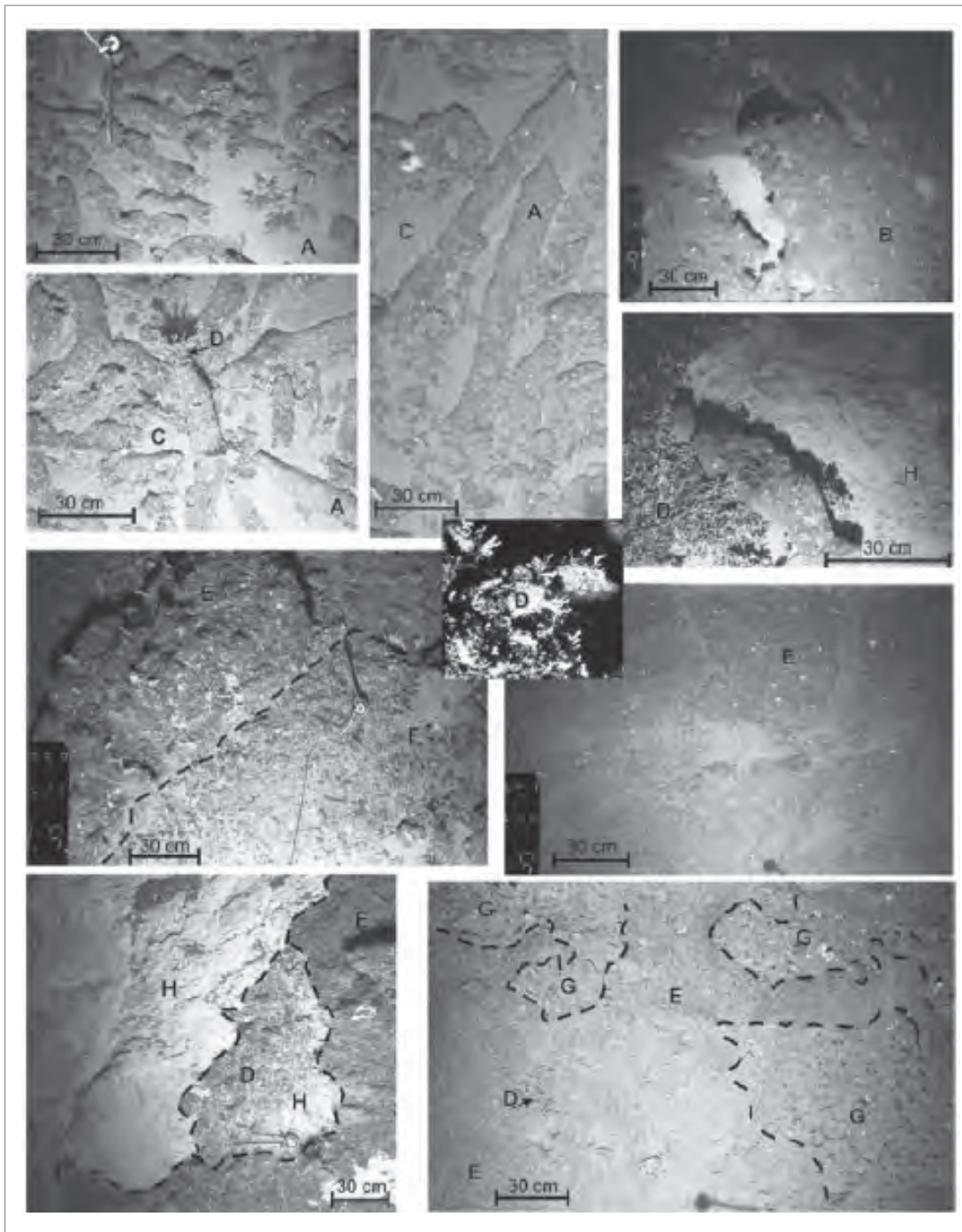


**Figura 2.3**

**Estructuras submarinas carbonatadas.**

A) Batimetría 3D de los montículos carbonatados Cornide, Hormigas, y Coruña, C) imagen submarina tomada a 950 m de profundidad sobre la cima del montículo carbonatado Cornide, mostrando numerosas estructuras carbonatadas circulares, algunas mayores de 1.5 m. Estas estructuras están ligadas a la oxidación anaeróbica de metano. León *et al.*, 2006.





**Figura 2.4**

**Tipos de estructuras submarinas ligadas a las costras y montículos carbonatados.**

A) Chimeneas carbonatadas, B) Costras carbonatadas, C) Barro expulsado por el volcán de fango, D) Corales de aguas frías "*Lophelia pertusa*", E) Aspecto de las costras de carbonato., F-G) Costras de carbonato. León *et al.*, 2006.

Los *pockmarks* relacionados con las emisiones de hidrocarburos del Golfo de Cádiz fueron descubiertos en los años 90 por Baraza y Ercilla (1996). Actualmente se están describiendo en aguas profundas, a lo largo del margen continental a profundidades de 500-2.000 m, más de 400 estructuras circulares a modo de pequeños cráteres, que se diferencian perfectamente en las batimetrías detalladas elaboradas en los campos TASYO (Somoza *et al.*, 2000). El tamaño de estas estructuras varía de 500-3.000 m, con pendientes de 12° a 35°C. Basados en las características de los perfiles sísmicos, se pue-

den agrupar en: (1) *pockmarks* con pequeños montículos y (2) *pockmarks* que parecen estructuras de colapso (Somoza *et al.*, 2003). La migración del gas se produce a lo largo de planos de falla (Medialdea *et al.*, 2004) y es lo que así mismo provoca la formación del cráter o *pockmark* (Somoza *et al.*, 2003; León, 2005). La expulsión de estos fluidos a través del sedimento crea un defecto de masa que genera una cavidad de colapso. (Somoza *et al.*, 2003; León, 2005). Los *pockmarks* del campo TASYO están alineados y parece que tienen unas secuencias de formación.

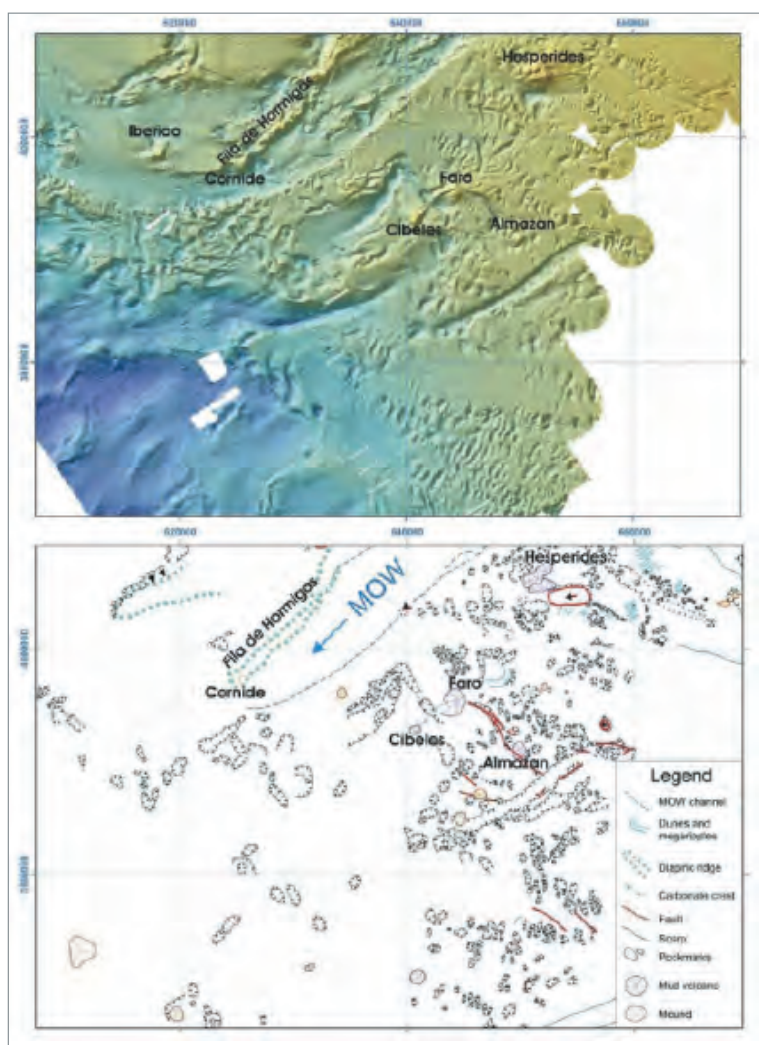


Figura 2.5

**Batimetría del área de *pockmarks* del campo TASYO.**

Las estructuras de este tipo están claramente relacionadas con los canales del agua mediterránea de salida. León *et al.*, 2006.

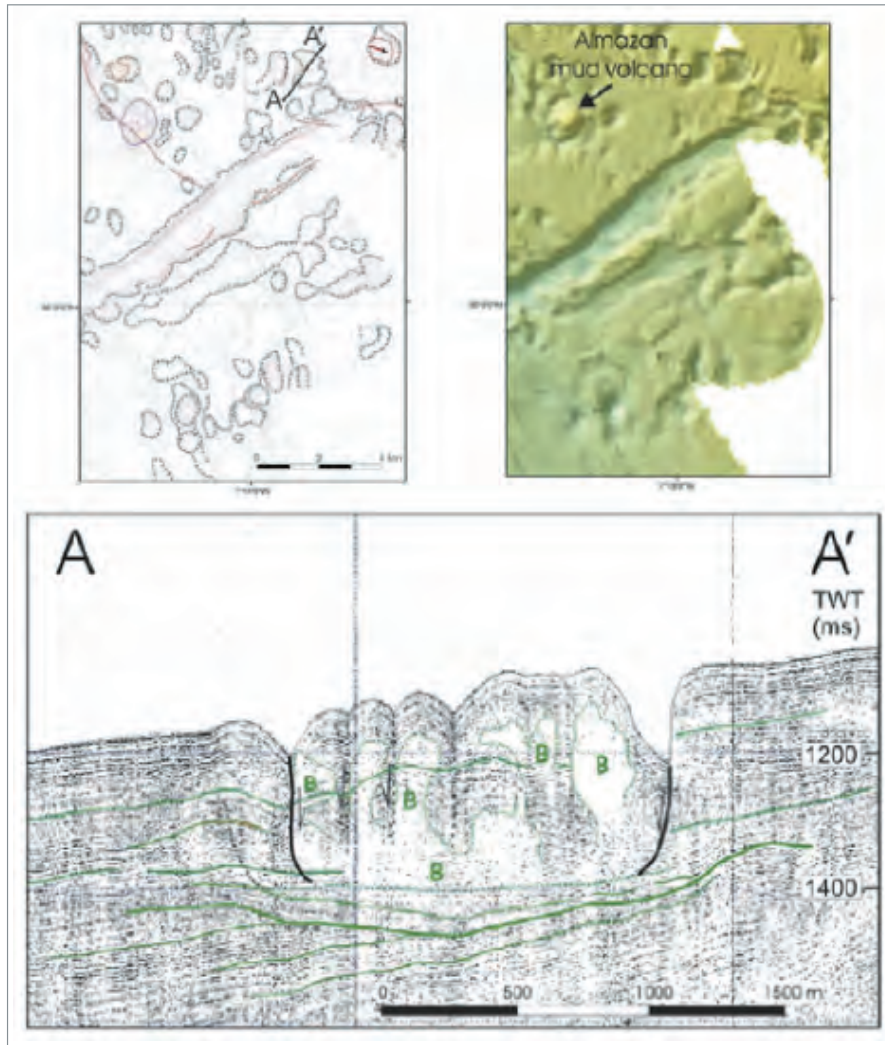


Figura 2.6

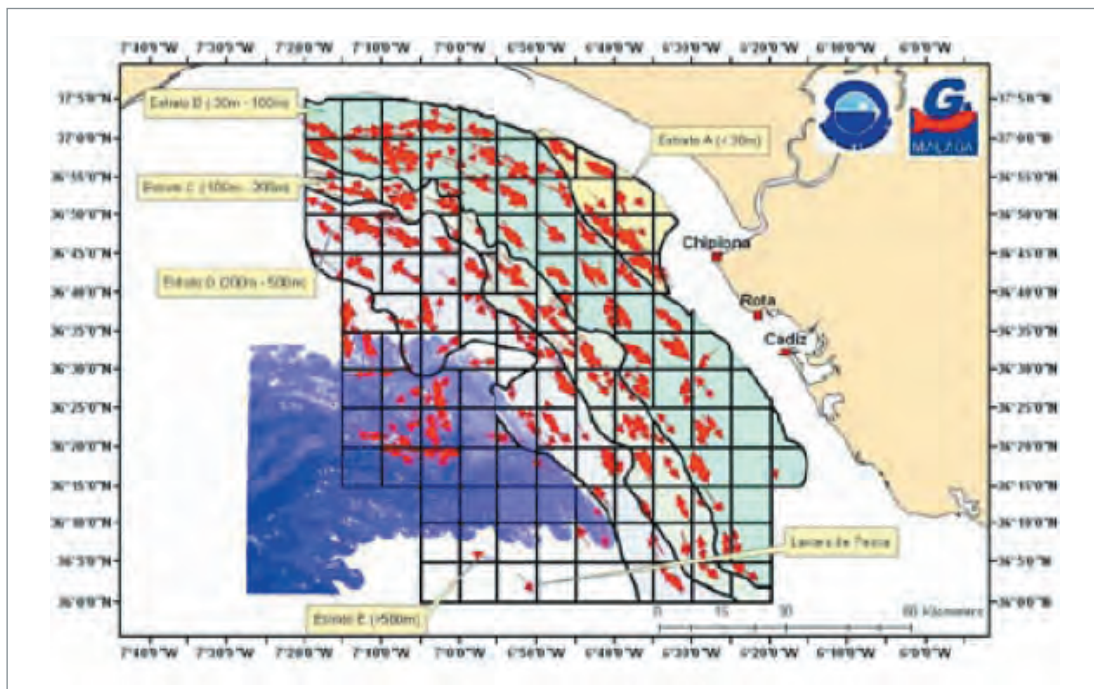
**Perfil sísmico y batimetría de una estructura tipo *pockmark*.**

Las áreas blancas del perfil están relacionadas con la estructura de colapso y además los sedimentos están afectados por fallas normales. León *et al.*, 2006.

### Campos de fluidos en aguas españolas

Desde el año 1992, el **Instituto Español de Oceanografía** viene realizando campañas anuales de prospección científica pesquera y oceanográfica en las aguas del Golfo de Cádiz, tanto en el marco nacional

como en el internacional, cooperando estrechamente con países europeos como Portugal. Esta actividad ha generado una base de datos importante y de gran valor estratégico, catalogada como “Serie histórica ARSA”, e incluye un gran volumen de valiosa información faunística de esta singular región natural.

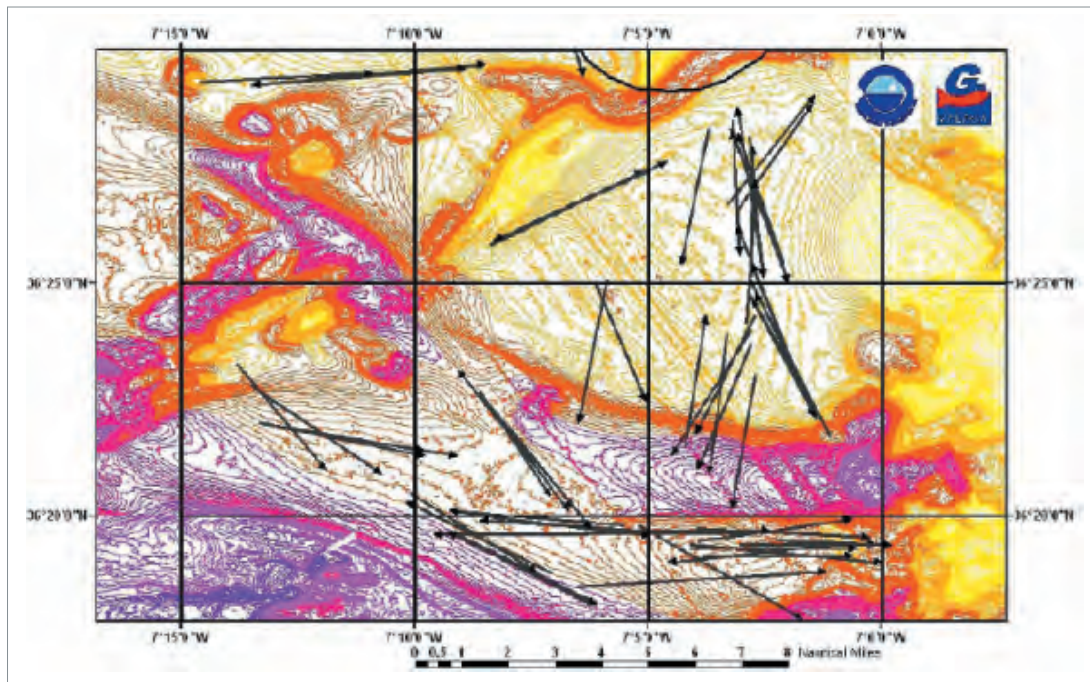


**Figura 2.7**

**Mapa del Golfo de Cádiz con la distribución de los estratos de muestreo científico (en flechas rojas los lances) realizados en las campañas ARSA del Instituto Español de Oceanografía sobre los caladeros demersales.** Las cuadrículas situadas en el extremo superior izquierdo corresponden a la zona del Laberinto. Fuente: IEO, Instituto Español de Oceanografía.

En El Laberinto se entremezclan varios fenómenos de origen geológico y ecológico, desde la escala de los microorganismos hasta la macrofauna bentónica. Es el único campo que se encuentra bajo las

aguas jurisdiccionales españolas, siendo uno de los más importantes caladeros de cigala de los existentes en el Golfo de Cádiz, donde los rendimientos son mayores.



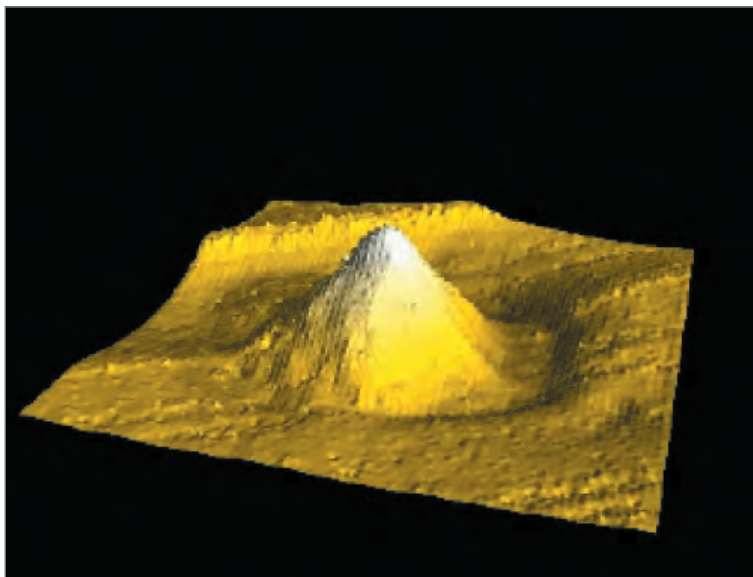
**Figura 2.8**

**Zona de El Laberinto con la posición de los lances de arrastre científico efectuados por el B/O Coornide de Saavedra.**

El fondo de la imagen es la batimetría multihaz en la que se observa, en tonos amarillos, las áreas de menor profundidad, tornando a colores azules al incrementar la profundidad. Al norte de la línea oblicua amarilla, se encuentran los volcanes de fango de este campo, mientras que todo el caladero está ocupado por megafauna excavadora. Fuente: IEO, Instituto Español de Oceanografía.

Dentro de esta zona, los fenómenos relacionados con los escapes de fluidos se caracterizan por la presencia de tres volcanes de fango (Anastasya, Pipoca y Tarsis) y un domo gasificado (Cigala). Los

sedimentos superficiales, contornitas, acogen una importante población de crustáceos decápodos, principalmente la cigala, que ha podido fotografiarse recientemente.



#### Volcán Anastasya: 7.5 km<sup>2</sup>

1. 7° 07' 57''W/36° 31' 56''N
2. 7° 07' 58''W/36° 30' 46''N
3. 7° 10' 12''W/36° 30' 50''N
4. 7° 10' 09''W/36° 31' 59''N

Figura 2.9

Volcán de fango Anastasya  
[www.ma.ieo.es/deeper/Fotitos/pages/Volcan%20de%20Fango%20Anastasya\\_3D\\_jpg.htm](http://www.ma.ieo.es/deeper/Fotitos/pages/Volcan%20de%20Fango%20Anastasya_3D_jpg.htm)

#### Volcán Pipoca: 6,6 km<sup>2</sup>

1. 7° 11' 27''W/36° 28' 14''N
2. 7° 11' 29''W/36° 27' 02''N
3. 7° 13' 35''W/36° 27' 03''N
4. 7° 12' 45''W/36° 28' 17''N

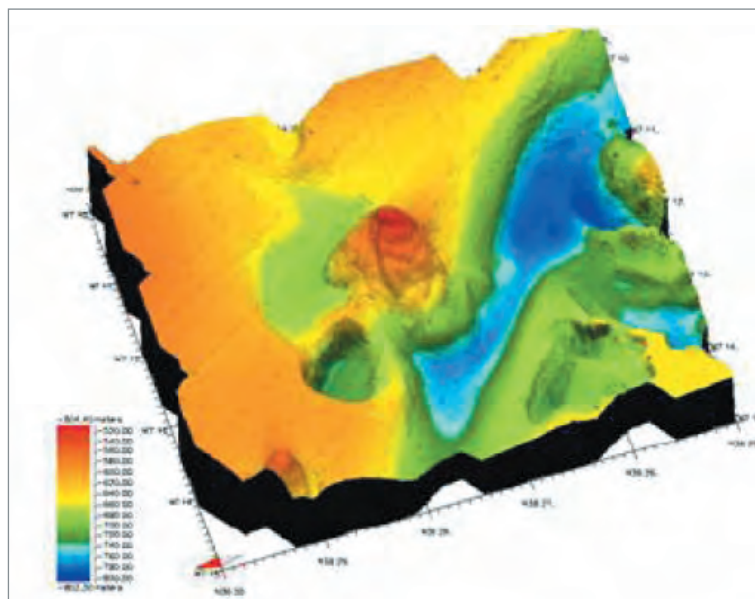
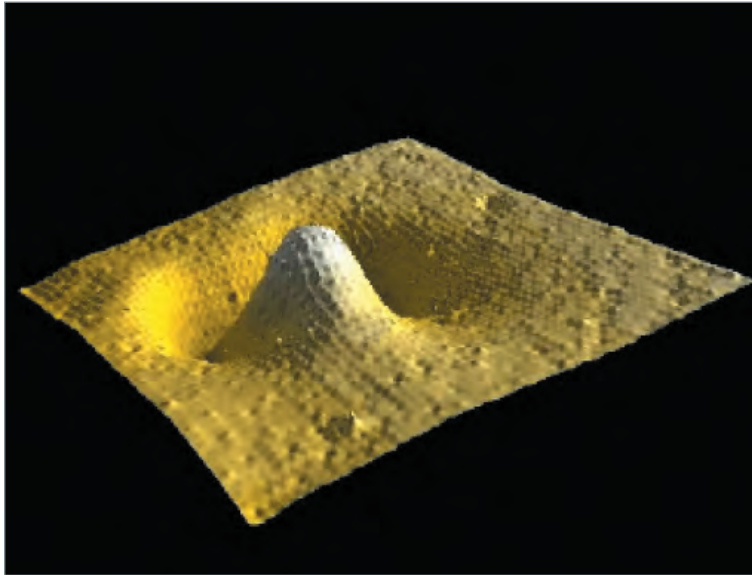


Figura 2.10

Modelo digital de terreno del volcán de fango Pipoca.



**Volcán Tarsis: 4,5 km<sup>2</sup>**

1. 7° 14'00''W/36° 29'58''N
2. 7° 14'00''W/36° 29'00''N
3. 7° 15'39''W/36° 29'02''N
4. 7° 15'38''W/36° 30'00''N

**Figura 2.11**

**Volcán de fango Tarsis**

[www.ma.ieo.es/deeper/Fotitos/pages/Volcan%20de%20Fango%20Tarsis%203D\\_jpg.htm](http://www.ma.ieo.es/deeper/Fotitos/pages/Volcan%20de%20Fango%20Tarsis%203D_jpg.htm)

**Estructura Tabular Cigala: 2,4 km<sup>2</sup>**

1. 7° 14'65''W/36° 28'48''N
2. 7° 12'53''W/36° 28'47''N
3. 7° 12'56''W/36° 28'03''N
4. 7° 14'03''W/36° 28'03''N

### 2.3. SUBTIPOS

Dentro del Golfo de Cádiz, como puede derivarse de lo anteriormente dicho, se pueden encontrar:

- Extensas zonas de costras y chimeneas carbonatadas (semejantes a los *bubbling reefs*) liga-

das a volcanes de fango y/o montículos carbonatados.

- Extensas zonas con *pockmarks* con o sin costras carbonatadas (se necesitan por el momento datos de más detalle)



Figura 2.12

Mapa simplificado del Golfo de Cádiz mostrando las unidades geológicas alóctonas denominadas olistostroma (modificado de Medialdea *et al.*, 2004). En el mapa batimétrico se observan las estructuras ligadas a la emisión de gases (volcanes de fango) identificadas en el Golfo de Cádiz. Los datos de los volcanes de fango están tomados de Ivanov *et al.* (2001), Gardner (2001), Pinheiro *et al.* (2003), Somoza *et al.* (2003). Los montículos carbonatados y los datos de chimeneas están tomados de Díaz-del Río *et al.* (2003). León *et al.*, 2006.

La intensa relación existente entre todas estas estructuras (volcanes de fango con montículos, costras carbonatadas y chimeneas carbonatadas)

y *pockmarks*. La falta de más estudios en profundidad hace imposible llegar a concretar de forma más precisa estos lugares.



## 2.4. EXIGENCIAS ECOLÓGICAS

La diversidad encontrada en el Golfo de Cádiz hasta el momento es debida a las características geológicas y físicas que aquí reinan, así como a las diferencias entre las diferentes composiciones de fluidos y de masas de agua. Así, las estructuras de escapes de fluidos situados en las partes más profundas del Golfo de Cádiz, tienen la influencia de las masas de agua atlántica, mientras que otros puntos están más influenciados por las masas de agua mediterránea. El Golfo de Cádiz, se encuentra fuertemente influenciado por el flujo de agua marina saliente del Estrecho de Gibraltar que procede del mar Mediterráneo. Los flujos dominantes son los atlánticos, en dirección hacia el Estrecho de Gibraltar y los mediterráneos, en su vuelta hacia el océano Atlántico, que tienen tiempos de residencia en el mar Mediterráneo de unos cien años. Atendiendo a la procedencia de las masas de agua y considerando la dirección de su desplazamiento, podemos distinguir los siguientes flujos en relación con su dinámica sobre el Estrecho de Gibraltar:

- 1) **Flujo de entrada de agua de origen atlántico**
- 2) **Flujo de salida de agua de origen mediterráneo**

### Masa de agua atlántica

En el interior de la masa de agua atlántica se reconocen tres capas (o masas), distribuidas verticalmente, según su salinidad y temperatura:

#### ■ Masa de agua superficial atlántica (Atlantic Surficial Water, ASW)

Se forma en el Golfo de Cádiz por procesos de interacción atmósfera-océano y fluye con dirección NO-SE. Ocupa los primeros 100 m de la columna de agua y está muy influenciada por los procesos atmosféricos y climatológicos. Las características de salinidad y temperatura están definidas por una isohalina de 36,4‰ y una termohalina estacional de 5°C cada 100 m. Los rangos de temperatura oscilan entre 12°C y 16°C y la salinidad está comprendida entre 35,7‰ y 36,85‰.

#### ■ Masa de agua central noratlántica (North Atlantic Central Water, NACW)

Procede de la corriente de Azores que, tras separarse de la corriente del Golfo, circula con dirección

NO-SE. Posteriormente se desvía hacia el E con un patrón meandriforme hacia el Golfo de Cádiz. Se sitúa entre los 100 y 700 m de profundidad, con una temperatura comprendida entre 12°C y 16°C y una salinidad comprendida entre un 34,7‰ y 36,25‰.

#### ■ Masa de agua profunda noratlántica (North Atlantic Deep Water, NADW)

Procede del mar de Noruega. Está formada por cinco fuentes, dos de ellas del hemisferio Sur (agua intermedia atlántica y agua profunda antártica) y tres del Atlántico Norte (agua mediterránea, agua del mar de Labrador y agua de salida del Mar del Norte). Se encuentra a profundidades mayores de 1.500 m y se caracteriza por temperaturas entre 3°C y 8°C y salinidad desde 34,95‰ y 35,2‰.

### Masa de agua mediterránea

Por otra parte, **la masa de agua mediterránea** que circula bajo la masa de agua atlántica y se desplaza como una capa de fricción sobre el fondo marino del Golfo de Cádiz, procede del mar Mediterráneo tras ser expulsada a través del Estrecho de Gibraltar. Se diferencian dos masas, cuya mezcla compone la que denominamos agua mediterránea:

#### ■ Agua levantina intermedia (Levantine Intermediate Water, LIW)

Se origina en la zona oriental del Mediterráneo y se dirige hacia el Estrecho de Gibraltar. Experimenta una bifurcación al llegar a la isla de Alborán y discurre posteriormente por la base del talud continental, penetrando bajo el agua superficial atlántica a una profundidad de 300 m, en la cuenca oriental, y de 200 a 800 m, en la occidental.

#### ■ Agua profunda occidental mediterránea (Western Mediterranean Deep Water, WMDW)

Se origina en el Golfo de León, en la zona norte de la cuenca mediterránea occidental y se desplaza paralelamente a la costa. La combinación de estas dos masas de agua recibe el nombre de agua mediterránea de salida (Mediterranean Outflow Water, MOW) y desempeña un papel importante en la sedimentación del talud continental del Golfo de Cádiz. Fluye a una profundidad comprendida entre los 600 y los 1.200 m, aunque en algunas zonas se superan los 2.500 m, y su influencia es notable a partir de los 300 m. El flujo de la MOW se origi-

na como una corriente termohalina que sufre una aceleración gravitacional debido a la pendiente al entrar en el Golfo de Cádiz. Cuando atraviesa el estrecho, la MOW se comporta como un flujo de profundidades intermedias que interacciona con el fondo, caracterizado por una temperatura de 13°C y una salinidad de 37,9‰. Una vez en el Golfo de Cádiz, en la zona entre el umbral y el meridiano 6°30'W, la MOW se ve afectada por la fuerza de Coriolis y gira hacia el NO paralela al talud. Desciende por el talud continental desde los 300 m de profundidad debido a las corrientes de gravedad y pierde el contacto con el fondo a unos 1.000 m

de profundidad en la zona oriental y a 1.400 m de la occidental. Según se dirige hacia el oeste, entre los meridianos 6°30'W y 7°W, la masa de agua mediterránea va perdiendo sus características, disminuyendo su velocidad, temperatura y salinidad, dividiéndose en varias ramas:

**1. Núcleo superior** (Mediterranean Upper Water, MU), que sigue paralelo a la batimetría de la zona entre 500 y 800 m de profundidad. Se caracteriza por una velocidad media de 46 cm/s, una temperatura de 13,72°C y una salinidad de 37,07‰.

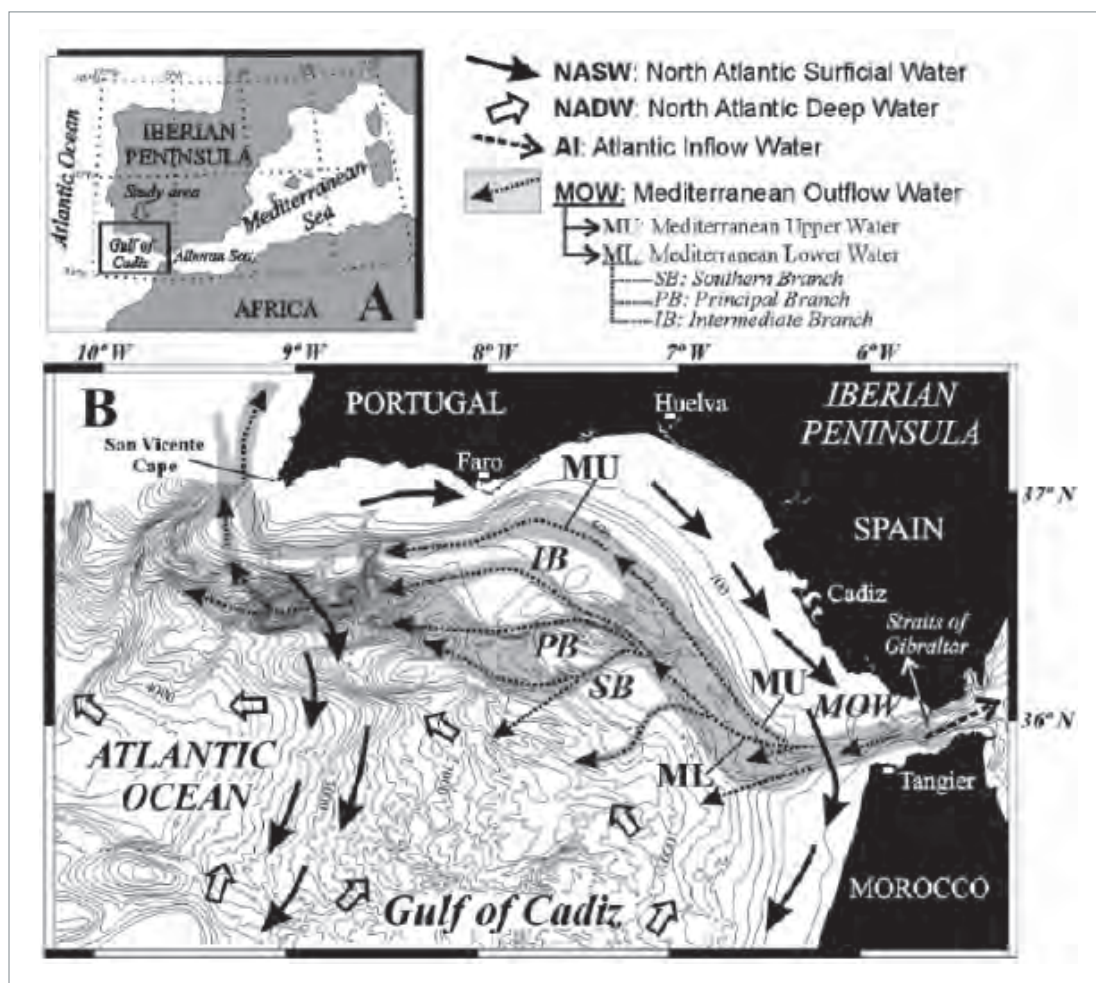


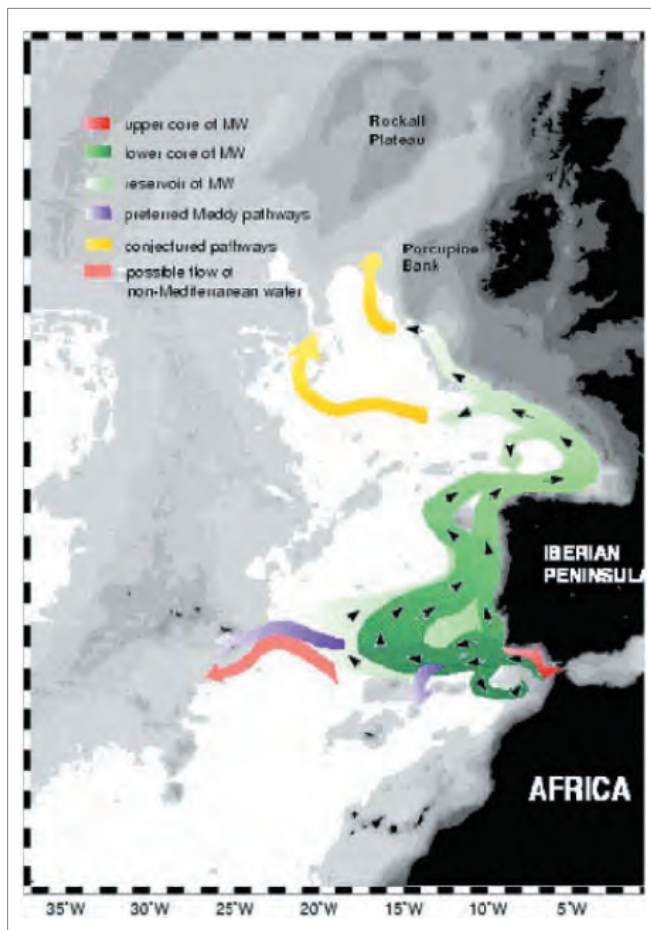
Figura 2.13

Esquema de general de circulación de la corriente mediterránea de salida en el Golfo de Cádiz Hernández-Molina *et al.*, 2003.

**2. Núcleo inferior** (Mediterranean Lower Water, ML), que sigue la isobata de 1.200 m. Se caracteriza por una velocidad de 20 a 30 cm/s, una temperatura de 13.6°C y una salinidad de 37,42‰.

Al llegar a la zona de relieves del talud medio se produce una gran inestabilidad que conlleva el origen de meandros en el flujo y la subdivisión en distintos brazos por efecto de la morfología, de los cuales, uno sigue la dirección del margen ibérico y el resto discurren por los cañones submarinos del talud. En ellos el flujo se canaliza aumentando su velocidad (40-50 cm/s). En el Cabo San Vicente, a la salida del Golfo de Cádiz, la corriente principal de la MOW aún se ve afectada por la fuerza de Coriolis, procesos de mezcla y diferencias de densidad, lo que produce que esta se divida en tres ramas:

- *Flujo superficial* que se desplaza hacia el N (IB), a 500-600 m de profundidad, circulando paralela al talud continental de Portugal y Galicia hasta llegar al mar de Noruega.
- *Flujo central* que se desplaza hacia el NO (PB) a profundidades de 700-90 m.
- *Flujo inferior* con dirección NO (SB), pero a una profundidad entre 1.200-1.500 m. El agua mediterránea profunda se desplaza, al abandonar el Golfo de Cádiz, hacia el Atlántico Norte, bordeando la costa de Portugal, pegado a su margen continental y ceñido al talud, formando la denominada lengua salina mediterránea, caracterizada por su mayor salinidad y por ciertos procesos de advección y difusión que le llevan a mezclarse con las aguas atlánticas menos salinas. Sin embargo, aparecen cuerpos salinos en puntos muy alejados de su origen, que se presentan como núcleos lenticulares de agua salina y templada, con notable rotación anticiclónica, procedentes del Mediterráneo, que reciben el nombre de *meddies*.



**Figura 2.14**  
Esquema de la circulación de agua mediterránea a su salida del Estrecho de Gibraltar a través del margen continental ibérico. Lorga y Lozier, 1999.

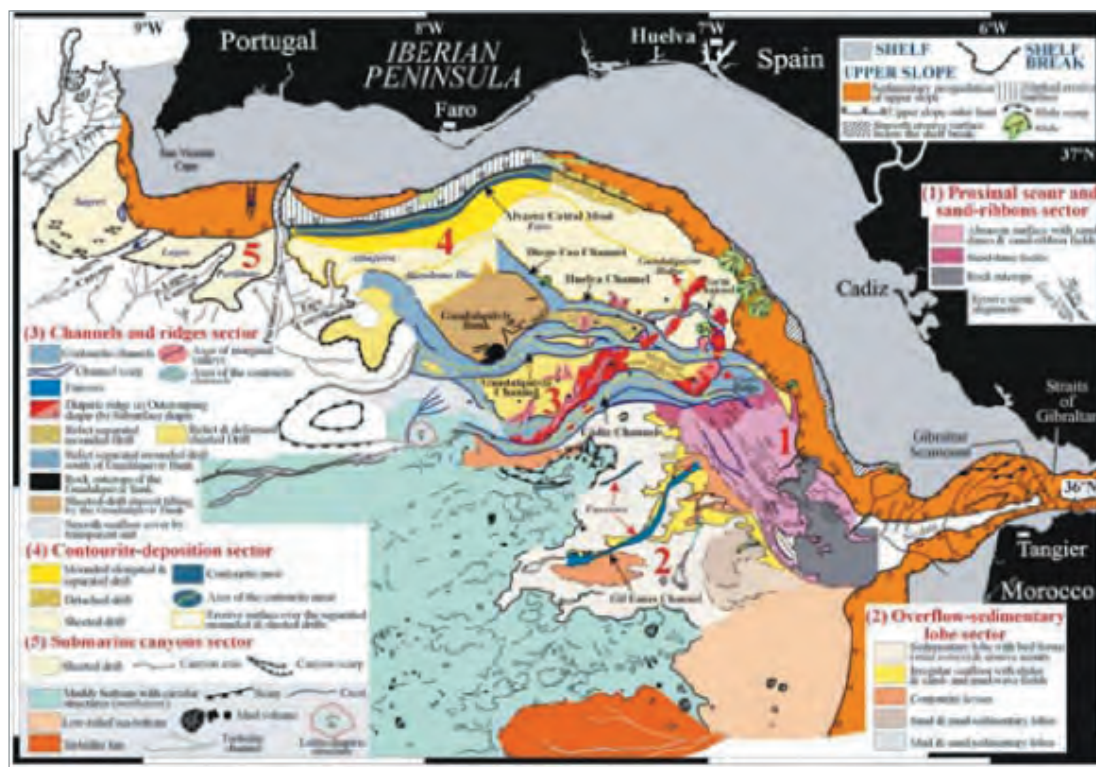


Figura 2.15

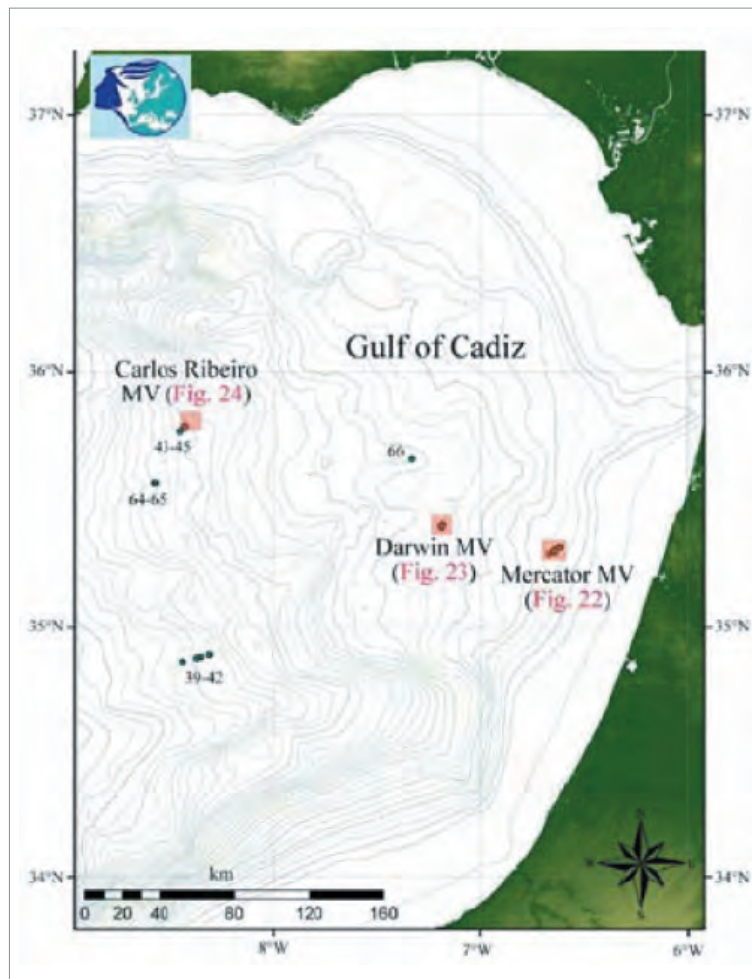
Mapa morfosedimentario y de sistemas deposicionales del talud del Golfo de Cádiz  
Tomado de Hernández-Molina *et al.*, 2003.

Estas estructuras transportan, en su desplazamiento hacia el norte, agua mediterránea sin que se produzca mezcla alguna, resultando estructuras muy estables que pueden llegar a permanecer sin deshacerse hasta varios meses.

#### Especies encontradas en esta zona

Son escasos los resultados científicos publicados hasta el momento en los que claramente se relacionen especies concretas con los *bubbling reefs* o costras dentro de los *pockmarks*. La mayor parte de los estudios desarrollados hasta el momento en el Margen del Golfo de Cádiz corresponden a zonas de volcanes de fango sobre fondos fangosos, en ocasiones asociados a zonas de costras y chimeneas carbonatadas.

Los barridos realizados con cámara submarina en la zona definida como Fila de Hormigas y Canal de Cádiz, muestran gran abundancia de esponjas y especies sésiles. Las esponjas están acompañadas de especies epifaunales, como cnidarios, poliquetos, equinodermos del grupo de las Ophiuras y decápodos. Los fondos son blandos y duros. Los fondos blandos están caracterizados por sedimentos finos, fangosos, con pocas gravas y algunos restos de costras carbonatadas dispersas. Los fondos duros están formados por campos de costras y chimeneas carbonatadas producidas por la oxidación anaeróbica de metano, como consecuencia de la actividad de consorcios microbianos. Las espículas y gusanos tubícolas, son abundantes. Los pólipos de *Lophelia pertusa* son también muy frecuentes, destacando la presencia de especies de alto interés. Existen en toda la zona especies de interés



**Figura 2.16**

**RRS James Cook Cruise 10.**

National Oceanography Centre, Southampton, Cruise Report No. 22, 13 May–07 Jul.

comercial como la cigala (*Nephrops norvegicus*), cuyas galerías atraviesan el sustrato sedimentario de la zona. En la zona que se muestra en el mapa siguiente se ha llevado a cabo un estudio detallado en una campaña oceanográfica reciente (fuera de aguas españolas).

Los géneros señalados aquí fueron recogidos en el volcán Carlos Ribeiro, (*Bobmarleya*) y Porto (*Spirobrachia* y *Lamellisabella*). (Hilario & Cunha, 2008). *Bobmarleya gadensis* habita en pequeñas depresiones del suelo oceánico. Se ha visto que algunos tubos antiguos y esponjas están colonizados por hidrozooos. Junto a estos restos se ha encontrado fauna (langostas, ofiuridos y holoturias) junto

con *Acharax*. La heterogeneidad medioambiental (masas de agua y factores geológicos) puede dar lugar a la alta diversidad de frenulados en el Golfo de Cádiz.

En este sentido y según Hilario & Cunha (2008) el Golfo de Cádiz debería ser considerado uno de los lugares más importantes para el estudio de *Frenulata*. La megafauna está limitada alrededor de los volcanes de fango. En el volcán Mercator (~340 m) la megafauna es dispersa y consiste en varias especies de peces y pulpos. Cerca del volcán hay un promontorio compuesto de fangos litificados ricos en megafauna de crinoides, cnidarios, urquidos y *Pennatula aculeata*.

En el volcán de fango Darwin (~1.100 m) el sedimento está cubierto de costras litificadas y la megafauna dominante son bancos de mejillones muertos. Otra megafauna asociada consiste en corales *stylasterine* y algún cangrejo aislado. En todo este área hay indicadores de bioturbación intensa.

La megafauna más importante está asociada al volcán de fango Carlos Ribeiro donde se han descrito corales como *Acanella arbuscula*, una gorgonia, y *Bathypathes*. En las coladas de fango que emanan del volcán de fango se han descrito holoturias *Bathyplores*, oxiuros y *Umbellula*.

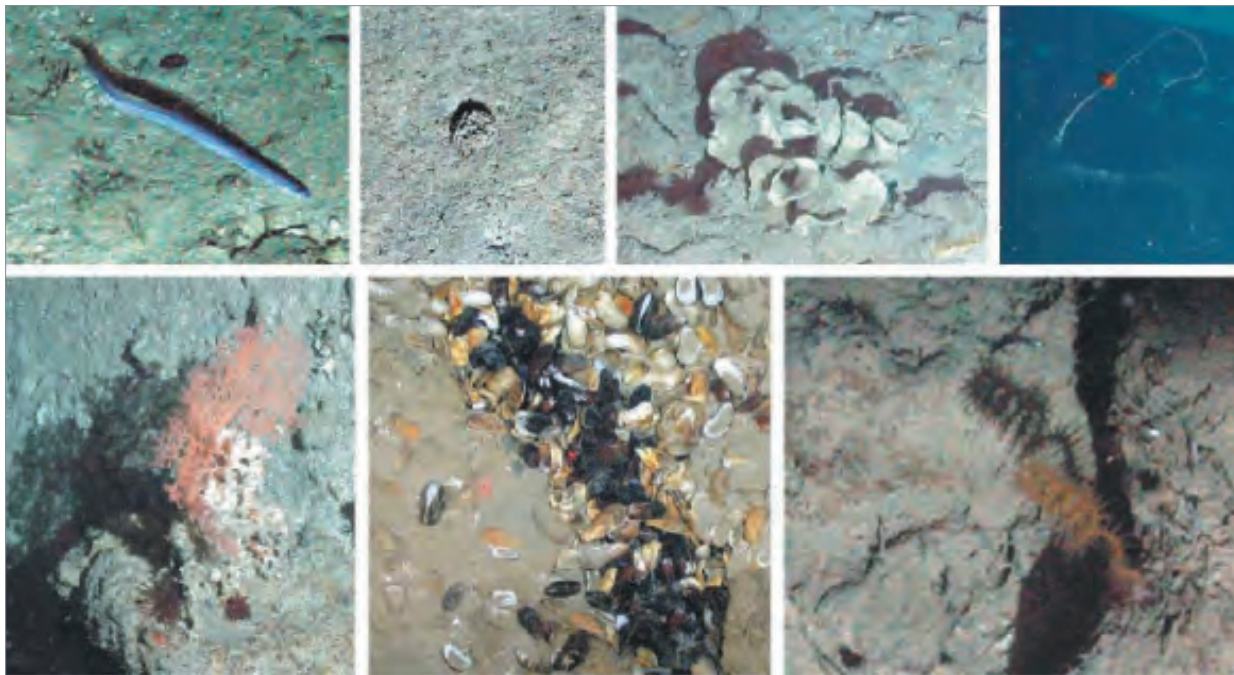


Figura 2.17

**Ejemplos de fauna del Montículo Darwin (*Synaphobranchus*, *Xenophore*, brioses, *Lophelia*, mejillones vivos y muertos del género *Bathymodiols* y gorgonias.)**

Tomado del informe de Campaña (Inédito) nn 22 del James Cook :RRS James Cook Cruise 10, National Oceanography Centre, Southampton, Cruise Report No. 22, 13 MAY – 07 JUL 2007, Hotspot ecosystems in the NE Atlantic, UK contribution to the HERMES Project, Mud volcanoes in the Gulf of Cadiz, Submarine canyons west of Portugal, Submarine canyons in the northern Bay of Biscay. *Principal Scientists* PPE Weaver (Leg 1) and D G Másson (Legs 2 and 3) 2007

A continuación, se presenta la lista de macrofauna presente en las muestras analizadas en los volcanes de fango del Golfo de Cádiz en la campaña del proyecto HERMES:

| Station<br>JC10 | Class                 | Po | Cnidaria |    |    | Mollusca |    | Annelida |    | Crustacea    |    |    |    |    | Echinodermata |    |    | Br |
|-----------------|-----------------------|----|----------|----|----|----------|----|----------|----|--------------|----|----|----|----|---------------|----|----|----|
|                 |                       | Hy | Sc       | An | Ga | Bi       | Si | Po       | Le | Malacostraca |    |    |    |    | As            | Cr | Op |    |
|                 |                       |    |          |    |    |          |    |          |    | De           | My | Am | Is | Ta |               |    |    |    |
|                 | <b>Mercator</b>       |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-18         | Dive 27-RS            | +  | +        | +  | +  |          |    | +        |    | +            |    |    |    |    |               |    | +  |    |
| JC10-21         | Dive 28-PC02          |    |          |    |    |          |    | +        | +  |              |    |    |    |    |               |    |    | +  |
|                 | Dive 28-PC03          |    | +        |    |    |          |    | +        | +  |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | Dive 28-PC04          |    |          |    |    |          |    | +        |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | <b>Darwin</b>         |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-28         | Dive 32-RS            |    | +        |    | +  | +        | +  |          | +  |              |    |    |    |    |               |    |    | +  |
| JC10-32         | Dive 33-SS01          |    |          |    | +  | +        |    | +        | +  |              | +  | +  | +  | +  | +             | +  |    |    |
|                 | Dive 33-SS02          |    |          |    | +  | +        |    | +        | +  |              | +  | +  | +  | +  | +             | +  |    |    |
| JC10-36         | Dive 34-PC09          |    |          |    |    |          |    | +        |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | <b>Carlos Ribeiro</b> |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-51         | Dive 36-PC01          |    |          |    |    |          |    | +        |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | Dive 36-PC02          |    |          |    |    |          |    | +        |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | Dive 36-PC03          |    |          |    |    |          |    | +        |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | Dive 36-PC04*         |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | Dive 36-PC05*         |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
|                 | Dive 36-PC06*         |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-54         | MGC *                 |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-57         | MGC                   |    |          |    |    |          | +  | +        | +  |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-61         | MGC                   |    |          |    |    |          |    | +        | +  |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-62         | MGC                   |    |          |    |    |          |    | +        |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |
| JC10-63         | MGC                   |    |          |    |    |          |    |          |    |              |    |    |    |    |               |    |    |    |

Tabla 2.1

Lista preliminar de los principales taxones de macrofauna presentes en las muestras.

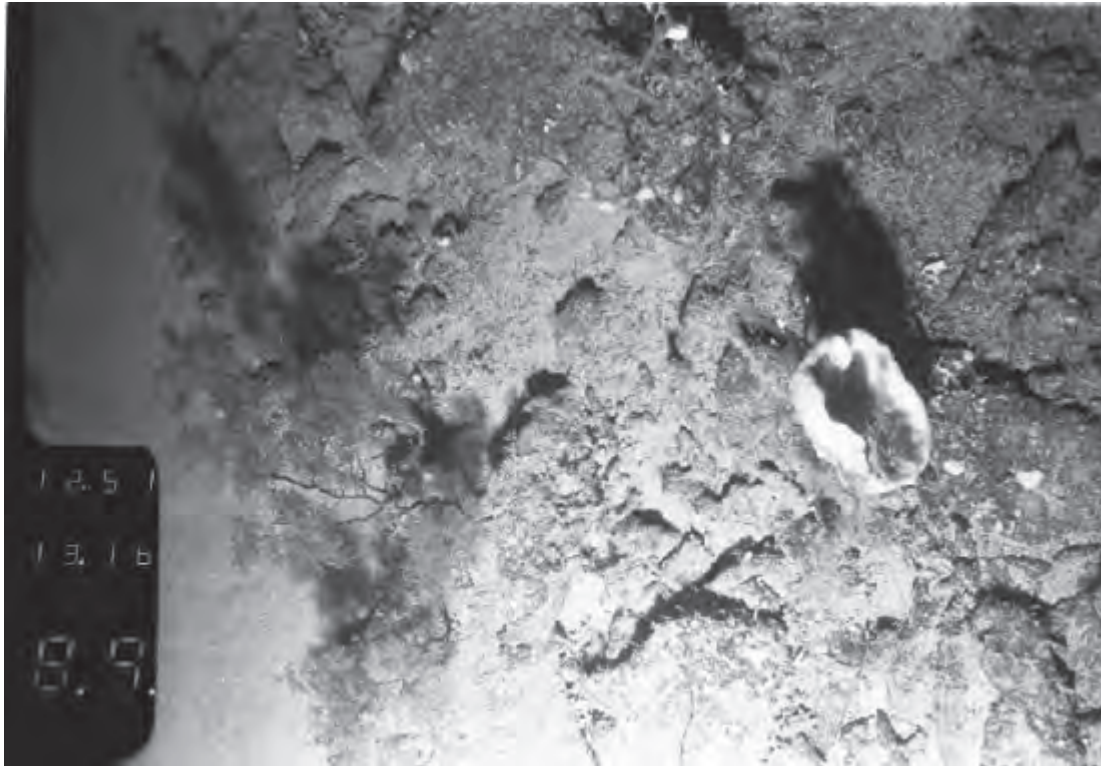


Figura 2.18

**Esponjas y gorgonias del campo Diasom**

Fuente IEO: [www.ma.ieo.es/deeper/Fotitos/pages/Esponjas%20y%20Gorgonias\\_.jpg.htm](http://www.ma.ieo.es/deeper/Fotitos/pages/Esponjas%20y%20Gorgonias_.jpg.htm)





## 3. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

### 3.1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE OCUPADA

#### ■ Método para calcular la superficie

Teledetección, ortofotografía, trabajo de campo.

#### ■ Directrices

Como se ha venido exponiendo en la ficha, la profundidad a la que se encuentran en este margen estas estructuras, así como lo novedoso de su descubrimiento, hacen muy difícil hacer una estimación de las áreas ocupadas. Para ello sería necesario un profundo estudio con sistemas de información geográfica y con los datos disponibles hasta el momento. Sin embargo, son necesarios muchos más datos procedentes de campañas oceanográficas para poder establecer primero el funcionamiento de estos sistemas y segundo la delimitación de las zonas. Asimismo en áreas en las que hasta el momento no se han observado *bubbling reefs* o carbonatos en *pockmarks* (Alborán o Galicia), no se descarta su existencia, pudiendo comprobarse si un estudio más profundo es llevado a cabo en el futuro.

#### ■ Superficie favorable de referencia

Plataforma continental y talud del Golfo de Cádiz.

### 3.2. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

El conocimiento de estos lugares es escaso y no se dispone de datos fiables ni suficientes para establecer el estado de conservación y por tanto el sistema de vigilancia posible para estas zonas. Serían necesarios estudios de detalle, como se expone en la última sección, para poder llevar a cabo una visión del estado de conservación. Hasta el momento sólo se dispone de datos puntuales y dispersos en diferentes puntos de Golfo de Cádiz, y no siempre dentro de las aguas territoriales españolas. Con datos procedentes de estudios conjuntos y multidisciplinares sería posible obtener la información necesaria para determinar el estado de conservación. Hasta el momento la pesca de arrastre constituye la principal amenaza para todos estos sistemas.





## 4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Tal como se puede observar en la siguiente tabla 4.1. extraída de un informe sobre biodiversidad y ecosistemas marinos profundos, el impacto que producen las actividades mencionadas en dicha tabla sobre los ecosistemas marinos relacionados con campos

de emisiones de fluidos (*cold seeps*) son, en su mayoría, desconocidos por lo que, hasta el momento, lo imprescindible es obtener nuevos datos acerca de estos ecosistemas para poder efectuar un análisis de su estado y unas recomendaciones acerca de su evaluación.

**Table 3.4: Estimated anthropogenic impacts on key habitats and ecosystems of the deep sea**

| Human activities             | Key deep-sea habitats and ecosystems |                |           |                        |                        |                     |                              |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------|-----------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------|
|                              | Continental shelves and slopes       | Abyssal plains | Seamounts | Cold-water coral reefs | Deep-sea sponge fields | Hydro-thermal vents | Cold seeps and mud volcanoes |
| Deep-sea fishing             | ◆                                    | ◆              | ◆         | ◆                      | ◆                      | ◇                   | ◇                            |
| Hydrocarbon extraction       | ◆                                    | ◇              | ◇         | ◆                      | ◆                      | ◇                   | ◇                            |
| Deep-sea mining              | ◆                                    | ◆              | ◆         | ◆                      | ◆                      | ◆                   | ◇                            |
| Waste disposal and pollution | ◆                                    | ◆              | ◆         | ◆                      | ◆                      | ◇                   | ◇                            |
| Cable laying                 | ◆                                    | ◆              | ◆         | ◆                      | ◆                      | ◆                   | ◇                            |
| Pipeline laying              | ◆                                    | ◇              | ◇         | ◆                      | ◆                      | ◇                   | ◇                            |
| Research and bioprospecting  | ◆                                    | ◆              | ◆         | ◆                      | ◆                      | ◆                   | ◆                            |

Impact: ◆ high ◆ medium ◆ low ◇ unknown

**Tabla 4.1**

**Deep-Sea Biodiversity and Ecosystems (2008)**

A Scoping Report on their Socio-Economy, Management and Governance. UNEP Regional Seas Report and Studies No 184, UNEP-WCMC Biodiversity Series No 28.





## 5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

### 5.1. LÍNEAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN

No existen trabajos previos en estas zonas sobre los temas expuestos aunque se trate de una línea de investigación prioritaria contemplada en el *VII Programa Marco de la UE* (2007-2013) y una temática ligada a la investigación de medio ambiente y cambio climático (Diario Oficial de la Unión Europea, 30/12/2006):

“Gestión de entornos marinos: impactos de las actividades humanas en el entorno marino y sus recursos; contaminación y eutrofización en los mares regionales y las zonas costeras; ecosistemas de las profundidades marinas; evolución de las tendencias de la biodiversidad marina, de los procesos ecosistémicos y de la circulación oceánica; geología del lecho marino; desarrollo de estrategias, conceptos y herramientas destinados a la utilización sostenible de los océanos y de sus recursos.”

En esta línea y recientemente, se ha puesto en marcha un proyecto desarrollado internamente por el Instituto Español de Oceanografía que contempla el estudio de alguno de los aspectos descritos en esta memoria y cuyos objetivos son los siguientes:

#### **Objetivos del proyecto DEEPER** ([www.ma.ieo.es/deeper/PagPrincipal.htm](http://www.ma.ieo.es/deeper/PagPrincipal.htm))

Caracterización de los rasgos geoambientales del fondo marino que permiten la comprensión en el desarrollo de ecosistemas bentónicos específicos y vulnerables.

Seguimiento de las capturas y rendimientos de las principales especies objetivo que habitan en los fondos bañados por el flujo mediterráneo: voraz, cigala y otros crustáceos de profundidad y su relación con determinados geoambientes. Conocimiento y descripción de las características de los geohábitat de las zonas objetivo.

#### **Identificación y estudio del ecosistema bentónico**

- a) Biogeografía de las comunidades bentónicas
- b) Ecosistemas vulnerables.

La experiencia del IEO es patente no sólo en este proyecto, sino en otras actuaciones de este tipo realizadas por el IEO en aguas internacionales del Atlántico Norte (Banco de Hatton) en el proyecto ECOVUL-ARPA ([www.ieo.es/proyectos/pesquerias/ecovularpa.htm](http://www.ieo.es/proyectos/pesquerias/ecovularpa.htm)) que tiene como finalidad el estudio de los ecosistemas vulnerables asociados a los caladeros del Atlántico Norte y de la que se dispone actualmente de algunos resultados preliminares.

Por otra parte el proyecto europeo HERMES ([www.eu-hermes.net](http://www.eu-hermes.net)) está realizando una serie de estudios en aguas portuguesas, españolas y del margen marroquí del Golfo de Cádiz que incluyen el estudio de los ecosistemas específicos ligados a zonas de emisión de fluidos en diversos ambientes, pero cuyos resultados están todavía sin publicar. Para ello se están realizando una serie de campañas oceanográficas con toma de muestras de todo tipo, utilización de ROVS y monitorización de las condiciones ambientales (flujos de metano, etc.), en las zonas donde se desarrollan estas comunidades. Por parte española, la investigación en las zonas marinas adyacentes a la Península Ibérica relacionada con el campo de los ecosistemas marinos vulnerables y ligada principalmente a la actividad geológica relacionada con escapes de fluidos, está sin desarrollar. Con respecto al tipo de estudios necesarios para llegar a un conocimiento profundo de estos ecosistemas, sería necesario un análisis multidisciplinar y conjunto de varios aspectos:

En primer lugar, es necesario realizar una caracterización detallada de los fondos marinos oceánicos desde todos los puntos de vista, tal como viene expresado en la propuesta efectuada por el Instituto Español de Oceanografía en su proyecto DEEPER [www.ma.ieo.es/deeper/PagPrincipal.htm](http://www.ma.ieo.es/deeper/PagPrincipal.htm)

- caracterización geomorfológica y fisiográfica de los fondos oceánicos, datos esenciales para establecer las características de los tipos de hábitat.
- caracterización de los sedimentos, ambientes y dinámica sedimentaria existente en estas zonas.
- determinar la actividad de emisión de fluidos, el origen y la actividad microbiológica.

Para llevar a cabo estos objetivos es necesario contar con una compleja infraestructura de toma de muestras, tanto geológicas como biológicas, y realizar la monitorización de aquellos lugares donde se ha detectado la emisión de fluidos y la presencia de estos ecosistemas específicos. Una vez establecidos todos los factores biofísicos, hay que establecer la composición, biogeografía y biodiversidad de las comunidades bentónicas y demersales que existan en estas zonas, así como la identificación del valor ecológico de las mismas.

Además, para todo este tipo de investigaciones es necesaria la realización de campañas oceanográficas a bordo de buques oceanográficos con suficiente capacidad para poder albergar los aparatos científicos necesarios relacionados con métodos acústicos y sísmicos para la caracterización de los fondos oceánicos, la toma de imágenes mediante cámaras y video cámaras submarinas, vehículos operados remotamente (ROVS) o submarinos que puedan operar a cualquier profundidad. Asimismo, es imprescindible poder disponer a bordo de infraestructura necesaria para la toma de muestras mediante dragas de arrastre bentónicas, box-cores, saca testigos, CTDs, etc.

Este tipo de investigación es muy costosa en términos económicos y humanos ya que requiere de infraestructuras como buques de investigación oceanográficos, además de los propios aparatos de investigación y de proyectos de investigación que apoyen estas campañas. Asimismo es muy importante que se disponga o se desarrolle una tecnología adecuada y a veces muy específica para la consecución de estos objetivos y que actualmente en España no se dispone, tales como vehículos submarinos operados remotamente a grandes profundidades (500-1.000 m), que puedan realizar filmaciones y que puedan tomar muestras en los lugares más interesantes.

Hay que señalar que la temática de esta investigación tiene al final unas consecuencias prácticas y economi-

cas, ya que inciden directamente en el conocimiento del estado de conservación y posibilidades de los caladeros de pesca. Por último, es sumamente importante la realización e integración de una base de datos con toda la información existente hasta el momento por parte de las instituciones públicas.

#### **Investigadores e instituciones españolas más relacionadas con el tema**

##### **Instituto Español de Oceanografía (IEO)**

Caracterización y estudio de los fondos marinos, caracterización ecológica y ecosistémica en los márgenes continentales españoles.

Juan Gil Herrera (*C.O. Málaga, Unidad de Cádiz*)

Víctor Díaz del Río Español (*C.O. Málaga, Fuengirola*) [diazdelrio@ma.ieo.es](mailto:diazdelrio@ma.ieo.es)

Juan Tomás Vázquez Garrido (*C.O. Málaga, Fuengirola*)  
[juantomás.vazquez@ma.ieo.es](mailto:juantomás.vazquez@ma.ieo.es)

##### **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)**

Caracterización y estudio de los fondos marinos de zonas ligadas a escapes de gases en el Golfo de Cádiz.

Luis Somoza Losada ([l.somoza@igme.es](mailto:l.somoza@igme.es))

Ricardo León Buendía ([r.leon@igme.es](mailto:r.leon@igme.es))

Teresa Medialdea Cela ([t.medialdea@igme.es](mailto:t.medialdea@igme.es))

##### **Universidad de Cádiz (UCA)**

Caracterización y estudio de los fondos marinos de zonas ligadas a escapes de gases en el Golfo de Cádiz.

María del Carmen Fernández Puga ([mcarmen.fernandez@uca.es](mailto:mcarmen.fernandez@uca.es))

María Pilar Mata Campo ([pilar.mata@uca.es](mailto:pilar.mata@uca.es))

##### **Universidad de Vigo (UVI)**

Caracterización y estudio de los fondos marinos de zonas ligadas a escapes de gases en las rías gallegas

Soledad García Gil ([sgil@uvigo.es](mailto:sgil@uvigo.es))



## 6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA

No existe apenas literatura científica de referencia sobre este tema en concreto. Las únicas referencias encontradas corresponden a trabajos y *abstracts* del año 2007 y 2008 y a memorias de campañas inéditas, informes y datos de instituciones públicas pero inéditos. La mayor parte de las referencias corresponden a referencias geológicas.

### Referencias citadas en el texto y otras de carácter geológico

- BARAZA, J. & ERCILLA, G., 1996. Gas-Charged Sediments and Large Pockmark Like Features on the Gulf of Cadiz Slope (SW Spain). *Mar. Petr. Geol.* 13: 253-261.
- BOETIUS, A., RAVENSCHLAG, K., SCHUBERT, C., RICKERT, D., WIDDEL, F., GIESEKE, A., AMANN, R., JØRGENSEN, B.B., WITTE, U. & PFANNKUCHE, O., 2000. A Marine Microbial Consortium Apparently Mediating Anaerobic Oxidation of Methane. *Nature* 407: 623-626.
- DEPREITER, J. POORT, P. VAN RENSBERGEN, & J. P. HENRIET, 2005 Geophysical Evidence of Gas Hydrates in Shallow Submarine Mud Volcanoes on the Moroccan Margin. *JGR.* 110, B10103, doi:10.1029/2005JB003622,
- 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. & HERNÁNDEZ-MOLINA, F. J., 2003. Vast Fields of Hydrocarbon-derived Carbonate Chimneys Related to the Accretionary Wedge/Olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Marine Geology* 195: 177-200.
- FERNÁNDEZ-PUGA M.C., SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., DÍAZ DEL RÍO V. & PINHEIRO L.M., 2004b Caracterización y clasificación de las estructuras diapíricas localizadas en el talud medio del Golfo de Cádiz. *Geo-Temas* 6: 170-174
- 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 Cádiz. En: García-Gil S. & Judd A. (eds.), *Contrib 8<sup>th</sup> Int. Conf. Gas in Marine Sediments, Shallow Gas Group*, 5-10. September 2005. Vigo, Spain. *Geo-Mar Lett* 27 (2/3) (in press).
- FERNÁNDEZ-PUGA, M.C., 2004. *Diapirismo y estructuras de expulsión de gases hidrocarburos en el talud continental del Golfo de Cádiz*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. 336 p.
- GARCÍA, C. & MARTÍNEZ DEL OLMO, W., 2001. One Sea Level Fall and Four Different Gas Plays: The Gulf of Cadiz Basin, SW Spain. *GCSSEPM. 21<sup>st</sup> Ann. Conference*. pp 357-367
- GARDNER, J.M., 2001. Mud Volcanoes Revealed and Sampled on the Western Moroccan Continental Margin. *Geophysical Research Letters* 28 (2): 339-342.
- GARDNER, J.M., VOGT, P.R. & SOMOZA, L., 2001. The Possible Affect of the Mediterranean Outflow Water (MOW) on Gas Hydrate Dissociation in the Gulf of Cádiz. *EOS Transactions. AGU, 82 (47)*. Fall Meeting Supplement Abstracts OS12B-0418.
- HENSEN, C., NUZZO, M., HORNIBROOK, E. PINHEIRO, L.M. BOCK, B. MAGALHÃES V.M. & BRÜCKMANN, W., 2007. Sources of Mud Volcano Fluids in the Gulf of Cadiz—Indications for Hydrothermal Imprint. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 5: 1.232-1.248.
- HOVLAND, M., 1990. Do Carbonate Reefs Form Due to Fluid Seepage? *Terra Nova* 2: 8-18.
- HOVLAND, M., 2002. On the Self-Sealing Nature of Marine Seeps. *Continental Shelf Research* 22: 2.387-2.394.
- HOVLAND, M. & JUDD, A., 1988. Seabed Pockmarks and Seepages. Impact in Geology, Biology and the Marine Environment. London: Graham & Trotman. p 293.
- HOVLAND, M., JUDD, A.G., BURKE & R.A., 1993. The Global Flux of Methane from Shallow Submarine Sediments. *Chemosphere* 26 (1-4): 559-578.

- HOVLAND, M., SVENSEN, H., FORSBERG, C.F., JOHANSEN, H., FICHLER, C., FOSSA, J.H., JONSSON, R. & RUESLATTEN, H., 2005. Complex *Pockmarks* with Carbonate-Ridges off Mid-Norway: Products of Sediment Degassing. *Marine Geology* 218: 191-206.
- HOVLAND, M., TALBOT, M.R., QVALE, H., OLAUSEN, S. & AASBERG, L., 1987. Methane-Related Carbonate Cements in *Pockmarks* of the North Sea. *Journal of Sedimentary Petrology* 57: 881-892.
- IORGA, M.C. & LOZIER, M.S., 1999: Signatures of the Mediterranean Outflow from a North Atlantic Climatology, 1: Salinity and Density Fields. *J. Geophys. Res.* 104: 25.985-26.009. MW
- IVANOV, M., PINHEIRO, L.M., STADNITSKAIA, A. & BLINOVA, V., 2001. Hydrocarbon Seeps on the Deep Portuguese Margin. European Union of Geosciences Meeting, EUG XI. Strasbourg (France), 8-12 April. Abstract. p.105.
- JENSEN, P., AAGAARD, I., BURKE, R.A., DANDO, P.R., JØRGENSEN, N.O., KUIJPERS, A., LAIER, T., O'HARA, S.C.M. & SCHMALJOHANN, R., 1992: Bubbling Reefs in the Kattegat: Carbonate-cemented Rocks Support a Diverse Ecosystem at Methane Seeps. *Marine Ecology Progress Series* 83: 103-112.
- JUDD A.G, HOVLAND M., 2007 *Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*. Cambridge University Press.
- LEÓN, R., 2005. Modelo SIG del campo de estabilidad de los hidratos de gas: aplicación a las estructuras geológicas ligadas a las emisiones submarinas de fluidos hidrocarburos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas. 463 p.
- LEÓN, R., SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., GONZÁLEZ, F.J., DÍAZ-DEL RÍO, V., FERNÁNDEZ-PUGA, M.C., MAESTRO, A. & MATA M.P., 2007 Sea-Floor Features Related to Hydrocarbon Seeps in Deepwater Carbonatemud Mounds of the Gulf of Cádiz: From Mud Flows to Carbonates Precipitates. In: García-Gil, S., Judd, A. (eds), Contrib. 8<sup>th</sup> Int. Conf. Gas in Marine Sediments, Shallow Gas Group, 5-10 September 2005. Vigo, Spain. *Geo-Mar Lett* 27(2/3) (in press).
- 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 Res II* 53: 1.464-1.481.
- LEÓN, R., SOMOZA, L., GARDNER, J.M., FERNÁNDEZ-PUGA, M.C. & DÍAZ-DEL RÍO, V., 2003. Modelling Gashydrate Reserves Along Continental Margins Using Oceanographic GIS (SIGEMAR). *Thalassas* 19 (2b): 240-241.
- LEÓN, R., SOMOZA, L., IVANOV, M.K., DÍAZ-DEL RÍO, V., LOBATO, A., HERNÁNDEZ-MOLINA, F.J., FERNÁNDEZ-PUGA, M.C., MAESTRO, A., MEDIALDEA, T., ALVEIRINHO, J., VÁZQUEZ, J. T., 2001. Seabed Morphology and Gas Venting in the Gulf of Cadiz Mud Volcano Area: Imagery of Multibeam Data and Ultra-High Resolution Data. In: Akhmanov, G., Suzyumov, A. (eds.), Geological Processes on Deep-Water European Margins, Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) UNESCO. Workshop Report Vol. 175: 43-45.
- MAESTRO, A., SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., TALBOT, C.J., LOWRIE, A., VÁZQUEZ, J.T. & DÍAZ-DEL RÍO, V., 2003. Large-Scale Slope Failure Involving Triassic and Middle Miocene Salt and Shale in the Gulf of Cádiz (Atlantic Iberian Margin). *Terra Nova* 15: 380-391.
- MALDONADO, A., SOMOZA, L., & PALLARES, L., 1999. The Betic Orogen and the Iberian-African Boundary in the Gulf of Cadiz: Geological Evolution (Central North Atlantic). *Mar. Geol.* 155: 9-43.
- MARTÍN-PUERTAS, C., 2004. Caracterización mineralógica de estructuras ligadas a escapes de metano en el Golfo de Cádiz. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- MARTÍN-PUERTAS, C., FERNÁNDEZ-PUGA, M.C., MATA, M.P., VÁZQUEZ-GARRIDO, J.T., DÍAZ-DEL RÍO V. & SOMOZA, L., 2007. Naturaleza de la brecha fangosa de volcanes de fango del Golfo de Cádiz: sistema diapírico del Guadalquivir y Zona tasyo. *Rev Soc Geol España* 19: 257-270
- MARTÍN-PUERTAS, C., MATA, M.P., DÍAZ-DEL RÍO, V., SOMOZA, L. & PINHEIRO, L.M., 2004. Caracterización mineralógica de la brecha fangosa de los volcanes de fango Anastasya y Almazán: talud medio del Golfo de Cádiz. En: VI Congreso Geológico de España, 12-15 julio 2004, Zaragoza: Spain. Geo-Temas. pp 191-193
- MARTÍN-PUERTAS, C., MATA, M. P., DÍAZ-DEL-RÍO, V., SOMOZA, L. & PINHEIRO, L.M., 2003. Primeros datos mineralógicos de sondeos de volcanes de



- fango en el Golfo de Cádiz y su relación con emisiones submarinas de metano. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 26 (A): 29-30.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, W. & GARCÍA, C. 2000. Cincuenta años de exploración en la Cuenca del Guadalquivir, Golfo de Cádiz. *Boletín informaciones petroleras Repsol YPF* 63: 79-92
- MATA, M.P., TABERNE, C., JULIA, R., TEAGLE, D.A.H., REJAS, M., DE GIBERT, J.M., ALFONSO, P., PEREZ-OUTEIRAL, F., DÍAZ-DEL RÍO, V. & SOMOZA, L., 2005. Microbial-Mediated Carbonates in the Gulf of Cádiz: Data of Iberico, Hesperides, Cornide and Fila de Hormigas (Abstract of Paper Presented at the EGU General Assembly 2005, Vienna. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 7, EGU05-A-04528. (CDROM)
- MAZURENKO, L.L. MAZURENKO, V.A. SOLOVIEV, J.M., BELENKAYA, I., IVANOV, M.K. & PINHEIRO L.M. 2002. Mud Volcano Gas Hydrates at the Gulf of Cadiz. *Terra Nova* 14: 321-329.
- MAZURENKO L.L., MAZURENKO, V.A., SOLOVIEV, J.M., GARDNER & IVANOV, M.K. 2003. Gas Hydrates in the Ginsburg and Yuma Mud Volcano Sediments (Moroccan Margin): Results of Chemical and Isotopic Studies of Pore Water. *Marine Geology* 195 (1-4): 201-210.
- MEDIALDEA, T., VEGAS, R., SOMOZA, L., VÁZQUEZ, J.T., MALDONADO, A., DÍAZ-DEL RÍO, V., MAESTRO, A., CÓRDOBA, D. & FERNÁNDEZ-PUGA, M.C., 2004. Structure and Evolution of the "Olistostrome" Complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cádiz (Eastern Central Atlantic): Evidence From Two Long Seismic Cross-Sections. *Marine Geology* 209:173-198.
- MICHAELIS, W., SEIFERT, R., NAUHAUS, K., TREUDE, T., THIEL, V., BLUMENBERG, M., KNITTEL, K., GIESEKE, A., PETERKNECHT, K., PAPE, T., BOETIUS, A., AMANN, R., JØRGENSEN, B.B., WIDDEL, F., PECKMANN, J., PIMENOV, N.V. & GULIN, M.B., 2002 Microbial Reefs in the Black Sea Fueled by Anaerobic Oxidation of Methane. *Science* 297: 1.013-1.015.
- MILKOV, A.V., 2000. Worldwide Distribution of Submarine Mud Volcanoes and Associated Gas Hydrates. *Marine Geology* 167: 29-42.
- ORPHAN, V.J., HOUSE, C.H., HINRICHS, K.U., MCKEEGAN, K.D. & DELONG, E.F., 2001. Methane Consuming *Archaea* Revealed by Directly Coupled Isotopic and Phylogenetic Analysis. *Science* 293: 484-485.
- PINHEIRO, L.M., IVANOV, M. K., SAUTKIN, G., AKHMANOV, G., MAGALHÃES, V.H., VOLKONSKAYA, A., MONTEIRO, J.H., SOMOZA, L., GARDNER, J., HAMOUNI, N. & CUNHA, M.R., 2003. Mud Volcanism in the Gulf of Cadiz: Results from the TTR-10 Cruise. *Mar Geol* 195:131-151
- SOMOZA, L., DÍAZ-DEL-RÍO, V., LEÓN, R., IVANOV, M., FERNÁNDEZ-PUGA, M.C., GARDNER, J.M., HERNÁNDEZ-MOLINA, F.J., PINHEIRO, L.M., RODERO, J., LOBATO, A., MAESTRO, A., VÁZQUEZ, J.T., MEDIALDEA, T. & FERNÁNDEZ-SALAS, L.M., 2003. Seabed Morphology and Hydrocarbon Seepage in the Gulf of Cádiz Mud Volcano Area: Acoustic Imagery, Multibeam and Ultrahigh Resolution Seismic Data. Sedimentary processes and Seafloor Hydrocarbon Emission on Deep European Continental Margins. *Marine Geology* 195 (1-4): 153-176.
- SOMOZA, L., GARDNER, J.M., DÍAZ-DEL RÍO, V., VÁZQUEZ, T., PINHEIRO, L. & HERNÁNDEZ-MOLINA, F.J. 2002. TASYO/ANASTASYA Shipboard Scientific Parties. Numerous Methane Gas Related Seafloor Structures Identified in the Gulf of Cádiz. *EOS Transactions* 83 (47): 541-547.
- THIEL, V., BLUMENBERG, M., PAPE, T., SEIFERT, R. & MICHAELIS, W., 2003 Unexpected Emergence of Hopanoids at Gas Seeps in the Black Sea. *Org. Geochem.* 34: 81-87.
- TREUDE, T., KNITTEL, K., BLUMENBERG, M., SEIFERT, R. & BOETIUS, A., 2005. Subsurface Microbial Methanotrophic Mats in the Black Sea. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 6.375-6.378
- WHEELER, A. BEYER, A., FREIWALD, H., DE HAAS, V.A.I., HUVENNE, M., KOZACHENKO, K., OLULE ROY & OPDERBECKE, J., 2007. Morphology and Environment of Cold-Water Coral Carbonate Mounds on the NW European Margin. *International Journal of Earth Sciences* 96: 1.

#### Fauna asociada a zonas con emisiones de gases en el Golfo de Cádiz

- DWORSCHAK, P.C. & CUNHA, M.R., 2007. A New Subfamily, *Vulcanocalliacinae* n.subfam., for *Vulcanocalliax arutyunovi* n.gen., n.sp. From a Mud Volcano in the Gulf of Cádiz (*Crustacea, Decapoda, Callianassidae*) *Zootaxa* 1460: 35-46.
- HILARIO, A. & CUNHA, M.R., 2008. On Some Frenulate Species (*Annelida: Polychaeta: Siboglini-*

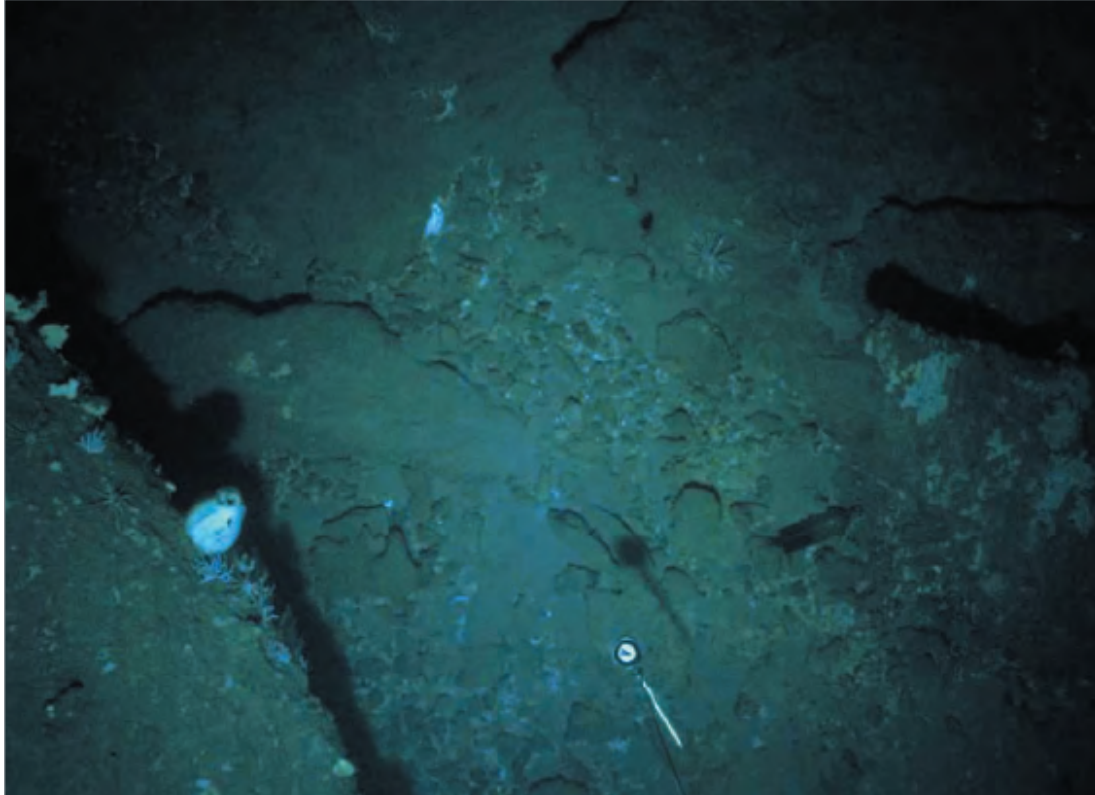
- dae*) from mud volcanoes in the Gulf of Cadiz (Northeast Atlantic) *Scientia Marina* 72: 361-371.
- MOURA, C.J., CUNHA, M.R. & SCHUCHERT, P., 2007. *Tubiclavoides striatum* gen. nov. et sp. nov. (Cnidaria: Hydrozoa) A New Bathyal Hydroid from the Gulf of Cadiz, North-East. *Atlantic Ocean Journal of the Marine Biological Association* 87: 421-428.
- RAVARA, A., CUNHA, M.R. & RODRIGUES, C.F., 2007. The Occurrence of Natsushima Bifurcate (*Polychaeta: Nautiliniellidae*) in Acharaxhosts from Mud Volcanoes in the Gulf of Cadiz (South Iberian and North Moroccan Margins) *Scientia marina* 71 (1): 95-100.
- RODRIGUES, C.F., OLIVER, P.G. & CUNHA, M.R., 2008. Thyasiroidea (*Mollusca: Bivalvia*) from the Mud Volcanoes of the Gulf of Cadiz (North-East Atlantic) *Zootaxa* 1752: 41-56.
- VAN ROOIJ, D., DEPREITER, D., HENRIET, J.P., VERSTEEG, W., FOUBERT, A., HUVENNE, V., STAELENS, P., DE RYCKER, K., VERCRUYSE, J., RÉVEILLAUD, J., BOUIMETARHAN, I. & DE BOEVER, E., 2005. First Sighting of Active Fluid Venting in the Gulf of Cadiz. *EOS Transactions*, Volume 86 (49): 509-511.
- Abstracts relacionados con geohábitat en el Golfo de Cádiz**
- ALMEIDA, M.D., RODRIGUES, C.F., CUNHA, M.R. & DE HAAS, H., 2007. Benthic Macrofauna Associated to Carbonate Mounds and Coral Reefs in Pen Duick Escarpment (Gulf of Cadiz). HERMES 2<sup>nd</sup> Annual Meeting. 24-30 March 2007. Carvoeiro, Portugal.
- 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. & SOBRINO, I. Main Benthic Ecosystem Features Surrounding the “Laberinto” (Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula): Geoenvironmental and Faunistic Compounds in Relation to Habitats Reunion GLOBEC-IMBER. Valencia, 28-31 de marzo de 2007.
- HILARIO, C. RODRIGUES, C.F. & CUNHA, M.R. 2008. Siboglinidae from the Gulf of Cadiz—An Update Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-12222, EGU General Assembly.
- PALOMINO, D., BARO, J., BÁRCENAS, P., BURGOS, C., CANOURA, J., DÍAZ-DEL RÍO, V., FARIAS, C., FERNÁNDEZ-SALAS, L.M., GIL, J., GARCÍA, T., LÓPEZ, N., POLONIO, V., SERNA-QUINTERO, J. M., SAYAGO, M., SOBRINO, I. & VÁZQUEZ, J.T. Caracterización geoambiental y faunística del caladero “El Laberinto” (Golfo de Cádiz, SO Península Ibérica). Congreso Español de Biogeografía. Málaga, 9-12 de septiembre de 2008.
- RODRIGUES, C.F., WEBSTER, G., WEIGHTMAN, A.J., CUNHA, M.R., 2008. Chemosynthetic Bivalve Species from Mud Volcanoes in the Gulf of Cadiz. HERMES 3<sup>rd</sup> Annual Meeting. 31 March–4 April, Carvoeiro, Portugal.
- Rías gallegas**
- ACOSTA, J., 1982. Apantallamientos acústicos en la ría de Muros y Noya y el Margen Continental de Cádiz. *Bol Inst Esp Oceanog.* Vol VIII, 341: 125-149.
- FERRÍN, A., DURÁN, R., DIEZ, R., GARCÍA-GIL, S. & VILAS, F. 2003. Shallow Gas Features in the Galician Rias Baixas (NW Spain). *Geo-Mar Lett* 23: 207-214.
- GARCÍA-GARCÍA, A., GARCÍA-GIL, S. & VILAS, F. 2004. Echo Characters and Recent Sedimentary Processes as Indicated by High-Resolution Sub-bottom Profiling in Ria de Vigo (NW Spain) *Geo-Mar Lett* 24: 32-45.
- GARCÍA-GARCÍA, A., 1999. *Estudio del Gas de los Sedimentos de la Ría de Vigo Mediante Técnicas Sísmico-Acústicas de Alta Resolución*. MSc. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias Marinas y O.T. (inédito). 165 p.
- GARCÍA-GARCÍA, A., VILAS, F. & GARCÍA-GIL, S., 1999. A Seeping Sea-Floor in a Ria Environment: Ria de Vigo (NW Spain). *Environmental Geology* 38: 296-300.
- GARCÍA-GIL, S. 2003. A Natural Laboratory for Shallow Gas: the Rias Baixas (NW Spain). In: Woodside, J.M., Garrison, R.E., Moore, J.C., Kvenholden, K.A. (eds.). Proc. 7<sup>th</sup> Int Conf. Gas in Marine Sediments, 7–12 October 2002, Baku, Azerbaijan. *Geo-Mar. Lett.* 23 (3/4): 215-229.
- GARCÍA-GIL S., GARCÍA-GARCÍA A. & VILAS, F., 1997. Presencia de gas somero en la Ría de Vigo (NW España). Abstract Volume, 2<sup>nd</sup> Symposium

- on the Atlantic Iberian Continental Margin, 17-20 September, Cádiz (Spain). pp 197-198.
- GARCÍA-GIL, S., VILAS, F., GARCÍA-GARCÍA, A. & DURÁN, R., 1999. Holocene Storm Delta In Incised-Valley Fill Sediments of Ria de Pontevedra, NW Spain. PosterAGU Fall Meeting, San Francisco, USA. *Eos Transactions* 80 (46): 559.
- GARCÍA-GIL; S., CROKER, P. & VILAS, F. 2001: Seafloor Mounds in the Muros and Arousa Rias of NW Spain. *Poster-Abstracts Earth System Processes Global Meeting, Geol. Soc. America and Geol. Soc. London*, June 2001, Edinburgh, Scotland. 104 p.
- IGLESIAS, J. & GARCÍA-GIL, S., 2007. High-Resolution Mapping of Shallow Gas Accumulations and Gas Seeps in San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain) Some Quantitative Data. *Geo-Mar. Lett.* 27: 103-114.
- MIJÓN, O., 1998: *Antozoos de la Ría de Vigo*. MSc. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología y Biología Animal (inédito). 165 p.
- PINOT, J.P., 1968: Littoraux wurmiens submergés à l'ouest de Belle-Ile. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire* 3: 197-216.
- RAMIL, F., ANSÍN-AGÍS, J. & FERNÁNDEZ-PULPEIRO, E., 1997: Soft-Bottom Hydroids (*Cnidaria:Hydrozoa*) Collected in the Ria de Vigo (NW Spain). *Zool. Verb. Leiden*, 323: 182-208.
- Baleares**
- ACOSTA, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M., VAQUERO, M. & UCHUPI, E., 2001. Pockmarks in the Ibiza Channel and Western End of the Balearic Promontory (Western Mediterranean) Revealed by Multibeam Mapping. *Geo-Mar. Lett.* 21: 123-130.
- ACOSTA, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M., VAQUERO, M. & UCHUPI, E., 2001 Geodynamics of the Emile Baudot Escarpment and the Balearic Promontory, Western Mediterranean. *Mar. Petrol. Geol.* 18: 349-369.
- IEO-IHM, 1999. Zona Económica Exclusiva, Hoja M-13. Mapa Batimétrico. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Español de Oceanografía, Departamento de Geología y Geofísica Marina.
- LASTRAS, G\*, CANALS, M., URGELES, R. HUGHES-CLARKE, J.E. & ACOSTA, J., 2004. Shallow Slides and Pockmark Swarms in the Eivissa Channel, Western Mediterranean Sea Sedimentology: 51: 1-14.





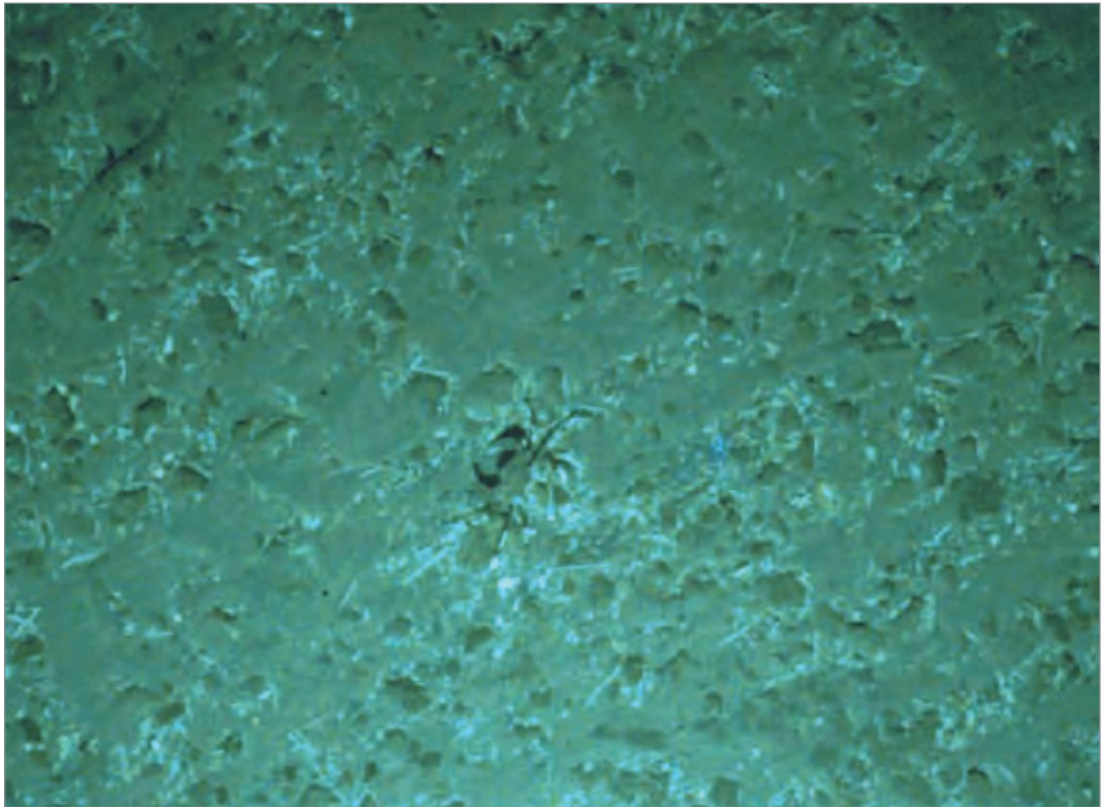
## 7. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1

**Erizos, corales y pólipos.**

Fotografía obtenida con cámara Bentos (celuloide 35 mm) a bordo del B/O Cornide de Saavedra (IEO), en la campaña Anastasya 2001/09 en el Golfo de Cádiz (Fila de Hormigas).



**Fotografía 2**

**Debris de corales y cangrejo.**

Fotografía obtenida con cámara Bentos (celuloide 35 mm) a bordo del B/O Cornide de Saavedra (IEO), en la campaña Anastasya 2001/09 en el Golfo de Cádiz (Fila de Hormigas).



**Fotografía 3**

**Erizos, corales**

Fotografía obtenida con cámara Bentos (celuloide 35 mm) a bordo del B/O Cornide de Saavedra (IEO), en la campaña Anastasya 2001/09 en el Golfo de Cádiz (Fila de Hormigas).

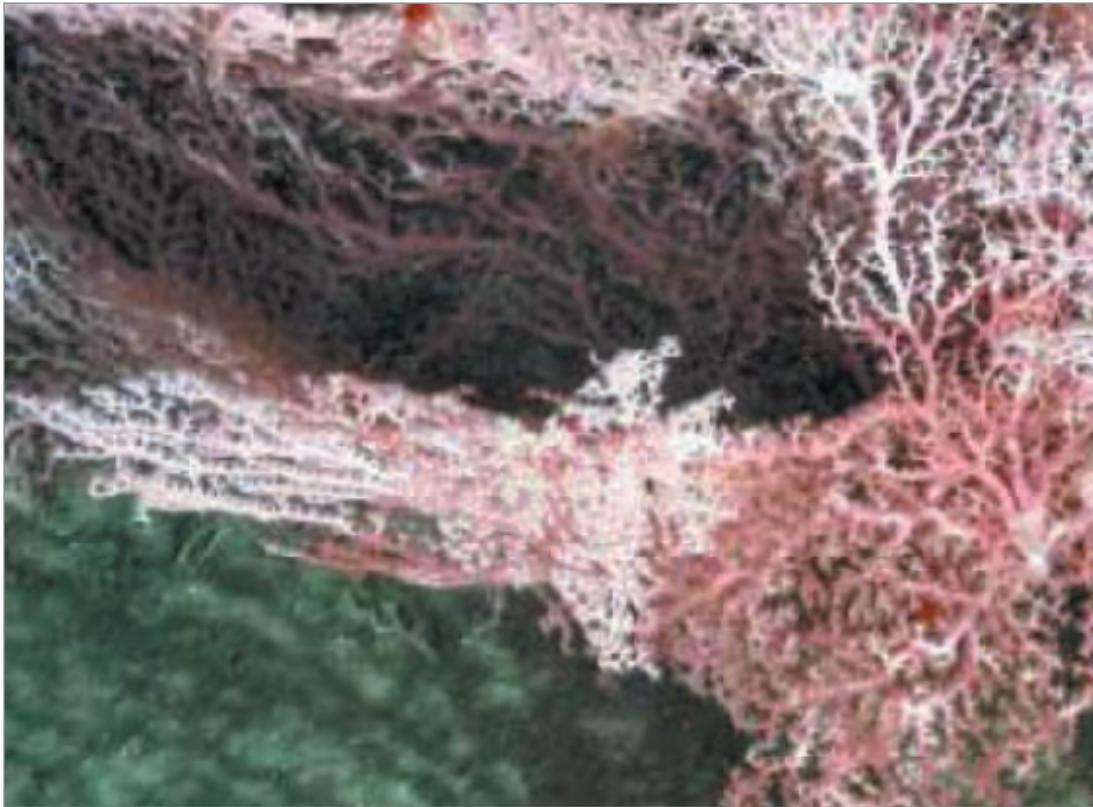


Fotografía 4

**Erizos, cangrejo.**

Fotografía obtenido con cámara Bentos (celuloide 35 mm) a bordo del B/O Cornide de Saavedra (IEO), en la campaña Anastasya 2001/09 en el Golfo de Cádiz (Fila de Hormigas).





Fotografía 5

**Campo de Gorgonias en el volcán de fango Carlos Ribeiro (Golfo de Cádiz)**

Tomado de la memoria de campaña (inédita) de la campaña oceanográfica celebrada durante el año 2007 por el buque oceanográfico J. Cook, dentro del proyecto Hermes). RRS James Cook Cruise 10, National Oceanography Centre, Southampton, Cruise Report No. 22, 13 MAY–07 JUL 2007, Hotspot ecosystems in the NE Atlantic, UK contribution to the HERMES Project, Mud volcanoes in the Gulf of Cadiz, Submarine canyons west of Portugal, Submarine canyons in the northern Bay of Biscay. Principal Scientists PPE Weaver (Leg 1) and D G Måsson (Legs 2 and 3) 2007.



**Fotografía 6**

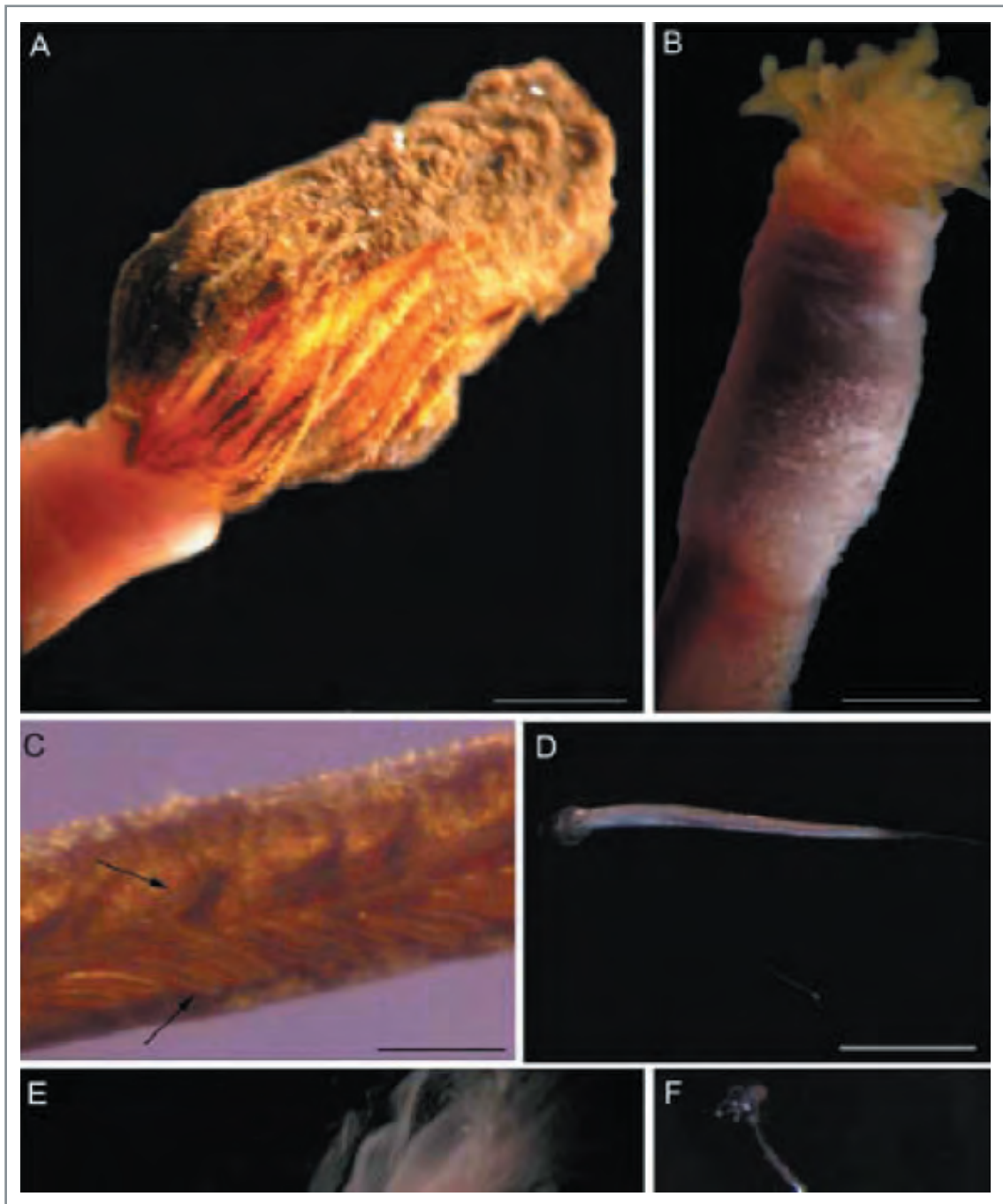
Fotografía tomada de la memoria inédita de la campaña oceanográfica celebrada durante el año 2007 por el buque oceanográfico J. Cook, dentro del proyecto Hermes. RRS James Cook Cruise 10, National Oceanography Centre, Southampton, Cruise Report No. 22, 13 MAY–07 JUL 2007, Hotspot ecosystems in the NE Atlantic, UK contribution to the HERMES Project, Mud volcanoes in the Gulf of Cadiz, Submarine canyons west of Portugal, Submarine canyons in the northern Bay of Biscay. *Principal Scientists* P P E Weaver (Leg 1) and D G Måsson (Legs 2 and 3) 2007.



Fotografía 7

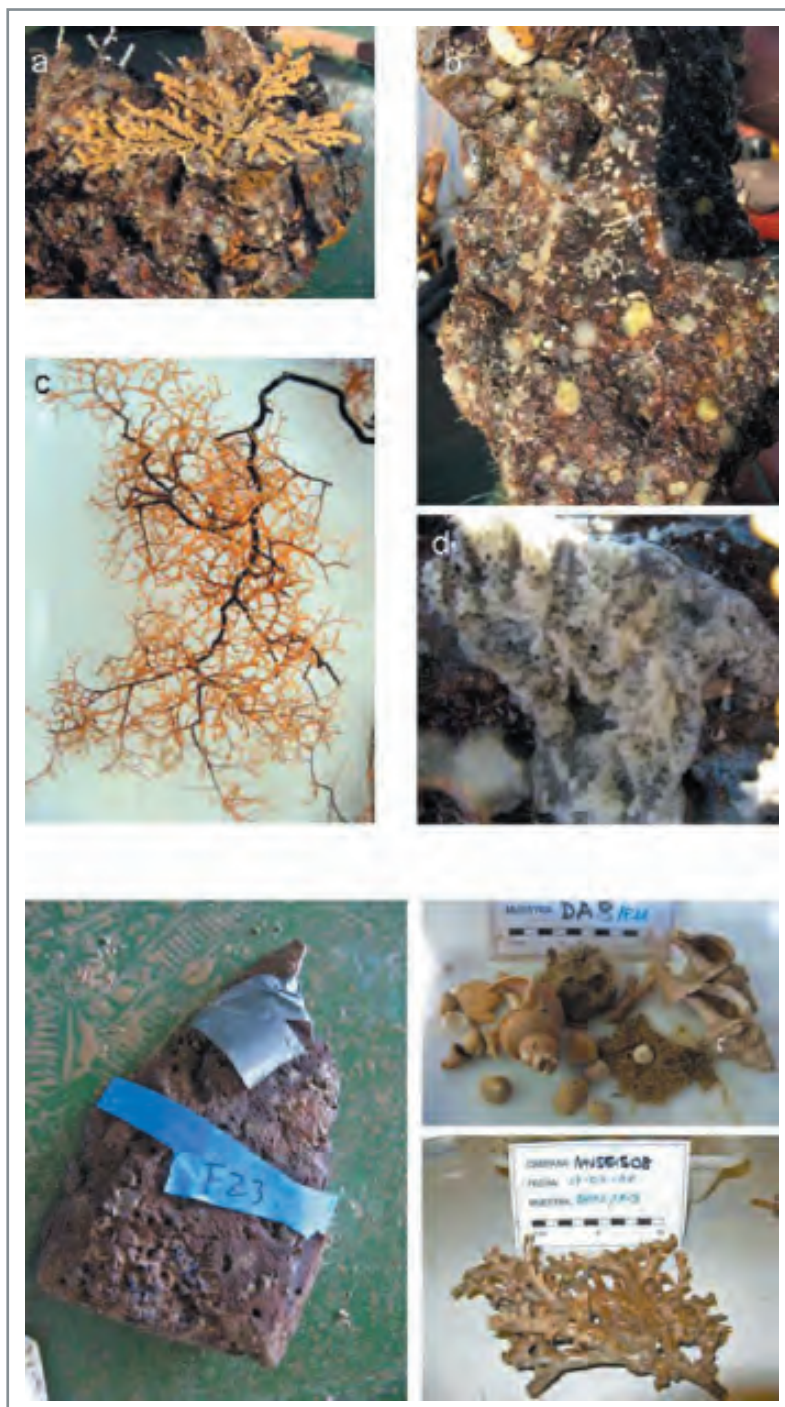
**Fauna quimiosintética del Golfo de Cádiz: mejillones en una grieta cerca de un volcán de fango.**

Imagen tomada del proyecto Hermes. RRS *James Cook* Cruise 10, National Oceanography Centre, Southampton, Cruise Report No. 22, 13 MAY – 07 JUL 2007, Hotspot ecosystems in the NE Atlantic, UK contribution to the HERMES Project, Mud volcanoes in the Gulf of Cadiz, Submarine canyons west of Portugal, Submarine canyons in the northern Bay of Biscay. *Principal Scientists* P P E Weaver (Leg 1) and D G Måsson (Legs 2 and 3) 2007.



Fotografía 8

*Bobmarleya gadensis*, Golfo de Cádiz, volcán de fango Carlos Ribeiro. Hilario & Cunha, 2008.



Fotografía 9

**Costras carbonatadas originadas por la oxidación anaeróbica de metano de la dorsal del Guadalquivir (Golfo de Cádiz).**

Las rocas fueron recogidas con draga de arrastre bentónica en la campaña oceanográfica "MVSEI08" liderada por El Dr. L. Somoza del Instituto Geológico y Minero de España a bordo del BIO Hespérides el pasado mes de mayo/2008. Se pueden observar corales, esponjas, gorgonias y otros organismos bentónicos sobre el sustrato rocoso. Autor: M. P. Mata.