

Plan Provisional CAMPAÑA “MVSEIS”

REN2002-11668E

EuroMARGINS

Programa Europeo de la *European Science Foundation (ESF)*
EUROCORE (*European Collaborative Research Programme*)



Investigador Responsable:

Dr. Luis Somoza Losada

Geología Marina, Dirección de Geología y Geofísica

Instituto Geológico y Minero de España IGME



EUROMARGINS
A EUROCORES PROGRAMME
EUROPEAN SCIENCE FOUNDATION COLLABORATIVE RESEARCH



**SECRETARÍA DE ESTADO DE POLÍTICA
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN**

DOCUMENTO DE PLAN DE CAMPAÑA.

1. DATOS DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL

Investigador Principal:

Luis Somoza Losada

Organismo:

Ministerio de Educación y Ciencia

Centro:

IGME Instituto Geológico y Minero de España

Dirección:

Ríos Rosas 23 28003 Madrid

Teléfono:

91 7287230

Fax:

91 7287202

E-mail:

l.somoza@igme.es

2. DATOS DEL PROYECTO

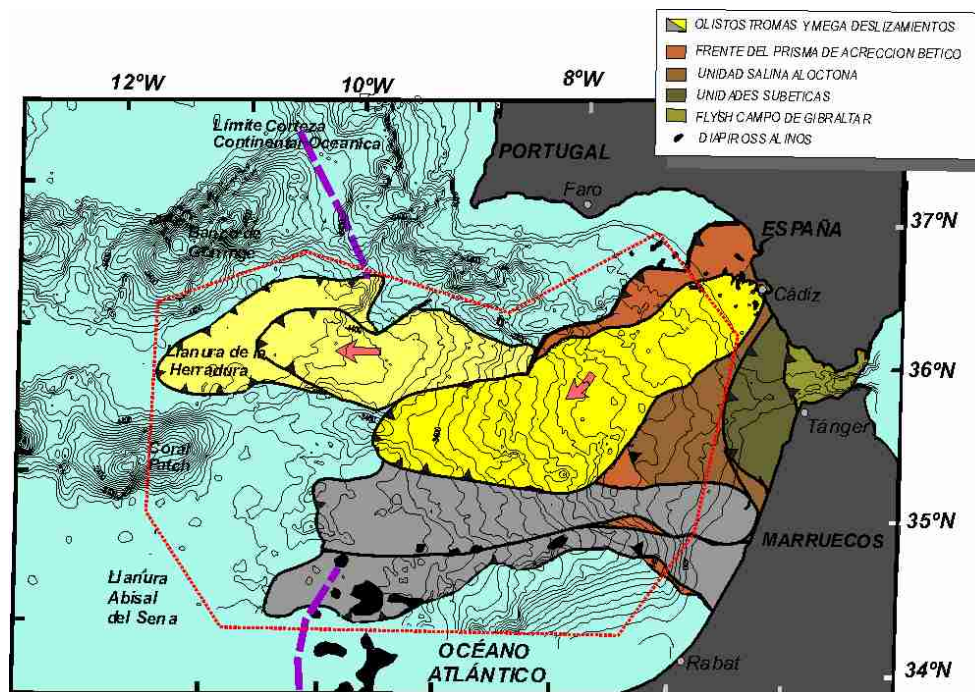
Título del Proyecto: **Control tectónico, estructura profunda y características de los volcanes de fango del Golfo de Cádiz.**

Proyecto EUROCORE-EUROMARGINS 01-LEC-EMA24F: "MVSEIS"
ACCION ESPECIAL REN 2002-1168E

3. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

La campaña MVSEIS se constituye como una contribución española coordinada dentro del proyecto MVSEIS (01-LEC-EMA24F), aprobado dentro del marco del programa de colaboración de organismos europeos de la European Science Foundation (ESF) EUROCORE-EUROMARGINS y dentro del objetivo: *"Fluid flow: seeps and associated deep-sea ecosystems"* / Emisiones de fluidos y ecosistemas marinos profundos asociados.

La campaña MVSEIS ha sido planificada con unos objetivos concretos, basados en la experiencia y datos adquiridos en el periodo de 1999-2001 en el marco del Proyecto TASYO (CYTMAR 98-0209), y que han supuesto un avance notable en la investigación submarina del Golfo de Cádiz.



El interés por realizar la campaña MVSEIS a bordo del BIO HESPERIDES se basa en la importancia de dichos descubrimientos submarinos realizados durante las campañas oceanográficas del proyecto TASYO, tanto a bordo del B/O Cornide de Saavedra (Anastasya 99 y 00), como del propio BIO-HESPERIDES (TASYO-2000). De estas campañas oceanográficas se han obtenido resultados espectaculares como son:

- Evidencias de numerosos volcanes de fango, bautizados como Hespérides, Anastasya, Tasyo, Cornide, Cibeles, Faro, Almazan, Gades, y Tarsis que están relacionados con

emisiones masivas de metano, sobre los que se desarrollan "arrecifes" carbonatados quimiosintéticos por oxidación de los hidrocarburos naturales.

- Descubrimiento de uno de los campos de chimeneas submarinas mas grandes del mundo generadas por emisiones de metano con alta actividad de organismos quimiosintéticos y mineralizaciones asociadas (Fig. 2) La existencia de chimeneas submarinas en el Golfo de Cadiz se desconocia hasta el momento y abre nuevas incognitas en esta área.
- Hallazgo de hidratos de metano a profundidades entre 800 y 1,000 metros, siendo la primera vez que se descubren gases hidratados en el Margen Continental Ibérico. El descubrimiento de depósitos de "hielo inflamable" o "gases hidratados" en los fondos submarinos del Golfo de Cádiz abre nuevas perspectivas en la investigación de los recursos naturales de los fondos marinos.
-

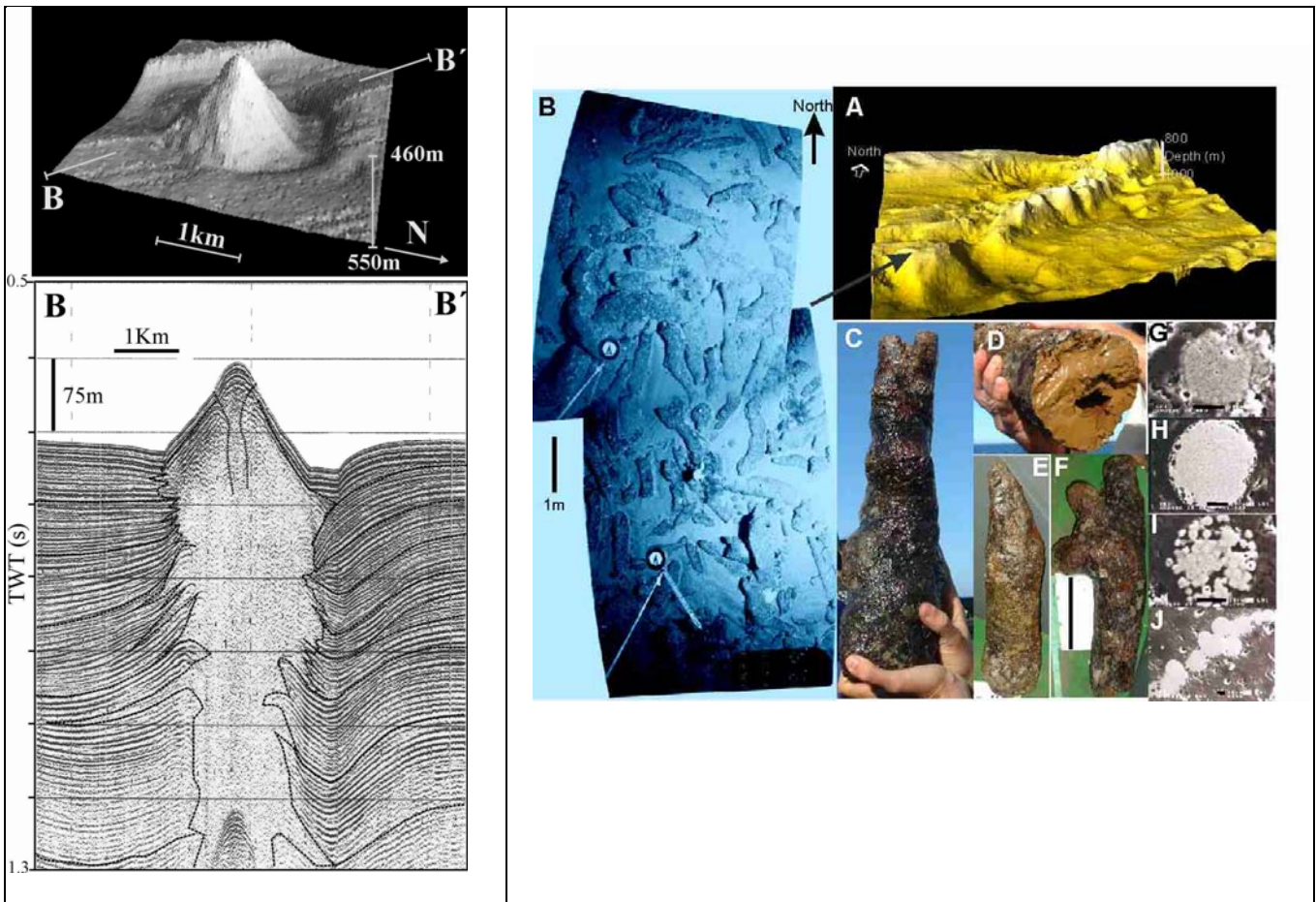


Fig. 2. Volcanes de fango y chimeneas submarinas descubiertas en el margen hispano portugués del Golfo de Cádiz durante el proyecto TASYO (Somoza et al. 2002; Diaz del Rio et al. 2002;)

Siguiendo esta línea de investigación, se proponen las siguientes tareas y técnicas en la campaña MVSEIS:

4. TAREAS A BORDO DEL BIO HESPERIDES

La realización de la campaña a bordo del BIO HESPERIDES comprenderá las siguientes técnicas:

Técnicas geofísicas de levantamiento continuo

- ❑ Sonda multihaz Simrad EM-12S-120. La batimetría multihaz tiene el objetivo de complementar el realizado por la compilación de varias campañas EUROMARGINS (ver mapa de campaña anexo) y realizar mosaicos en detalle de mayor resolución reduciendo la amplitud del haz en zonas concretas.
- ❑ Ecosonda paramétrica TOPAS.
- ❑ Sistema de sísmica monocanal con cañones "Sleeve Guns" (UTM), hidrófono de alta resolución (UTM/IEO) y sistema de adquisición digital (DELPH2 Triton ELICS) (UTM/IGME)
- ❑ Gravímetro.
- ❑ Magnetómetro marino.
- ❑ Sonda EA600 para control de pinger de la cámara submarina.

Técnicas de muestreo y monitorización

- ❑ Toma de testigos mediante "PISTON CORER" (UTM)
- ❑ Toma de muestras de fondo con dragas de roca circulares (UTM) y draga bentónicas rectangulares (IEO).
- ❑ Mega BOX-CORER (IEO).
- ❑ Toma de fotografías submarinas con cámara de alta profundidad (IEO)
- ❑ Sonda de calor (UTM).

Uso de Laboratorios

- ❑ Laboratorio frío (-4°C) para almacenamiento de testigos de gravedad y piston core.
- ❑ Cámara de congelación (-20°C) para almacenamiento de posibles muestras de gases hidratados
- ❑ Laboratorio para revelado de fotografías.

5. OBJETIVOS CIENTÍFICOS

Los principales objetivos científicos de la campaña MVSEIS se pueden resumir en:

- 1) **Estudiar** la morfología y la configuración geofísica interna (sismica, magnéticas y gravimétricas) de los volcanes de fango y dorsales diapiricas carbonatados de los márgenes continentales del Golfo de Cádiz.
- 2) **Identificar, muestrear y fotografiar** posibles estructuras activas de emisiones de fluidos en los fondos de las dorsales diapiricas y volcanes de fango.
- 3) **Muestrear** hidratos de gas asociados a los volcanes de fango y estudiar las condiciones geotérmicas y oceanográficas para su formación.
- 4) **Identificar y muestrear** biomineralizaciones (nodulos, costras, chimeneas, etc) por la acción de micro/macro organismos quimiosintéticos por oxidación anaerobica de metano y/o disociación de gases hidratados (clatratos).
- 5) **Reconocer** el papel de los cambios globales (paleo) oceanográficos/climáticos y tectónicos en la formación y evolución de volcanes de fango, dorsales diapiricas carbonatadas, arrecifes quimiosintéticos profundos y biomineralizaciones asociadas.

6. AREA Y PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo prevé la prospección de volcanes de fango y arrecifes carbonatados en el área de trabajo en el Golfo de Cádiz (Fig. 4) y concentradas en dos boxes:

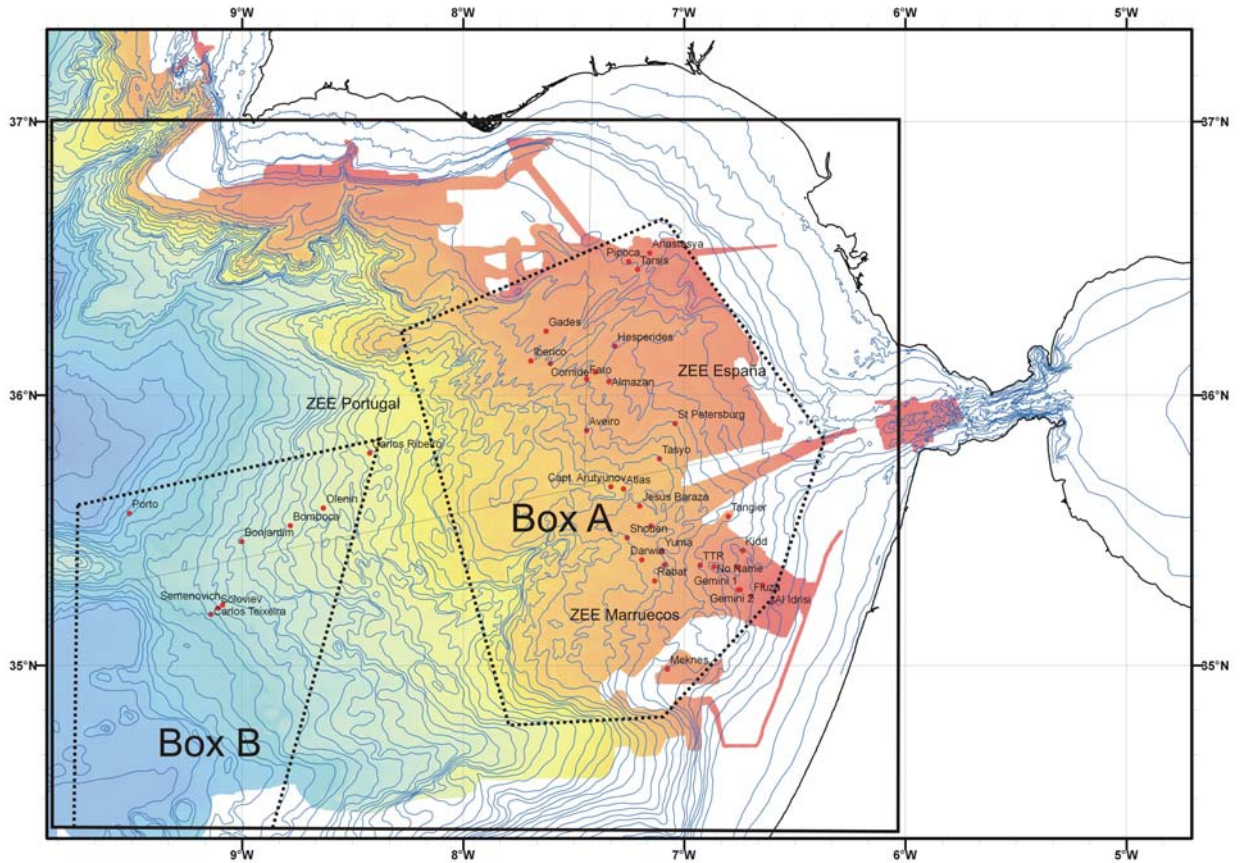


Figura 3. Area de trabajo de la campaña MVSEIS con la situación de BOXES provisionales donde se concentran los objetivos de la campaña: los volcanes de fango identificados hasta el momento con puntos rojos.

El área de trabajo está delimitada por las siguientes coordenadas:

1	6° W	37° N	3	10° W	34,5° N
2	6° W	34,5 ° N	4	10° W	37° N

El área de trabajo comprende aguas de soberanía de ZEE de España, Portugal y Marruecos. **NOTA:** los boxes de trabajo son estimativos y preliminares e indican unicamente zonas con mayor concentración de objetivos: volcanes de fango con puntos rojos.

La secuencia del plan de trabajo prevista durante la campaña será:

- 1) **Selección** detallada de zonas objetivo.

- 2) **Levantamiento previo cartográfico y geofísico** de zonas objetivo las técnicas geofísicas de prospección continua (sismica alta resolución, EM120 y TOPAS) para la selección de los itinerarios de camara submarina y puntos de toma de muestras y testigos.
Se prevé levantamientos geofisicos y batimetria multihaz con duración no máxima de 12 horas y preferentemente durante la noche.

- 3) **Itinerarios con camara submarina** en perfiles continuos durante 1 a 2 horas sobre el fondo. El seguimiento de la camara se realizara mediante pinger con la sonda EA600 (12kHz).

- 4) **Toma de muestras** con:
 - Dragas de arrastre de roca circulares (UTM) / rectangulares bentónicas (IEO) y/o
 - Mega "Box Corer" (IEO) y/o
 - Testigos "Piston Corer" (UTM)

En función de la naturaleza del fondo submarino se seleccionara el tipo de tecnica para muestreo.

La testificación se realizará en aquellas zonas seleccionadas con gran interes y donde se observen claros indicios de emisiones submarinas y carbonatos derivados del metano.

La experiencia adquirida en campañas anteriores, y los resultados obtenidos, permiten ser optimistas en la identificación de objetivos de gran interés como áreas de emisiones con volcanes de fango, chimeneas submarinas, arrecifes quimiosintéticos.

- 5) **Testificación con sonda de calor "heat flow probe"** en caso de encontrar emisiones que pudieran indicar actividad reciente o campos de gases hidratados.

7. PERSONAL CIENTIFICO PARTICIPANTE EN LA CAMPAÑA

Lista provisional (13/08/2008)

CIENTIFICOS	ORGANISMO
1. Dr. Luis Somoza Losada (Jefe Científico)	Geología Marina (IGME)
2. Dra. Teresa Medialdea Cela	Geología Marina (IGME)
3. Dr. Ricardo León	Geología Marina (IGME)
4. Dr. Fernando Bohoyo	Geología Marina (IGME)
5. Dr. Javier Gonzalez	Geología Marina (IGME)
6. Dr. Victor Diaz del Rio Español	Instituto Español de Oceanografía (IEO)
7. Dr. Tomas Vazquez Garrido	Instituto Español de Oceanografía (IEO)
8. Nieves López	Instituto Español de Oceanografía (IEO)
9. Desiree Palomino Cantero	Instituto Español de Oceanografía (IEO)
10. Dr. Javier Hernández Molina	Universidad de Vigo (UVI)
11. Dr. David Casas	Instituto Ciencias del Mar, Barcelona (ICM. CSIC)
12. Dra. Pilar Mata	Universidad de Cádiz (UCA)
13. Celia Martin Puertas	Universidad de Cádiz (UCA)
14. Francisco Gonzalez	Tecnimar
15. Farida Anahnah	Marruecos
16. Dr. M'Fedal Ahmamou	Marruecos
17. Dr. Luis Pinheiro	Universidade de Aveiro (UAV), Portugal.
18. Catarina Maduro Rasquilha Simal de Lemos	Universidade de Aveiro (UAV), Portugal
19. Dra. Susana Lebreiro	Instituto Geológico e Mineiro de Portugal (IGM)
20. Dra. Joan Gardner	Naval Research Laboratory, Washington, USA
21. Estudiante CC. Mar Vigo	
22. Estudiante CC. Mar Vigo	
23. Estudiante CC. Mar Cadiz	
24. Estudiante CC. Mar Cadiz	

8. PROYECTOS EUROPEOS ESF EUROCORE-EUROMARGINS

La campaña MVSEIS se realiza como contribución española dentro del proyecto MVSEIS (01-LEC-EMA24F), aprobado dentro del marco del programa de colaboración de organismos europeos ESF EUROCORE-EUROMARGINS y dentro del objetivo: FLUID FLOW: SEEPS AND ASSOCIATED DEEP-SEA ECOSYSTEMS / EMISIONES DE FLUIDOS Y ECOSISTEMAS MARINOS PROFUNDOS ASOCIADOS.

MVSEIS: Tectonic control, deep crustal structure and fluid escape pathways in the Gulf of Cadiz Mud Volcano Field /NOTA: Se anexa resumen del proyecto europeo.

Objetives: To investigate the deep crustal structure, the tectonic control and the detailed geometry of the fluid escape pathways in two areas of active mud volcanism in the Gulf of Cadiz, from where gas hydrates have been recovered. This proposal could be extended to include the Norwegian Margin (Haakon Mosby mud volcano).

Members: Portugal (IGM,UA,UL), Spain (IGME, IEO, UCA, UTM/CSIC), France (IUEM, Ifremer), Italy (IGM), United Kingdom (Oxford, SOC), Germany (Geomar). Cooperation with industry (Statoil, TGS-NOPEC, etc.).

9. COORDINACION CON OTROS PROYECTOS INTERNACIONALES DE INVESTIGACIÓN EN EL GOLFO DE CADIZ

- Programa **TTR-10 (Training Through Research)** de UNESCO-IOC dentro del Programa TTR promovida por UNESCO-IOC como parte del programa de formación de estudiantes de geología marina a través de la investigación oceanográfica aplicada (Floating University-TTR Training Trough Research). Se ha realizado una activa colaboración con el grupo de investigación de la UNESCO-MSU Centre for Marine Geoscience de Moscú con amplia experiencia en el estudio de gases hidratados en fondos submarinos, tanto en el Mediterráneo y Atlántico.
- Proyecto **MATESPRO** (Portugal): Major Tectonic and Sedimentary Processes in the Portuguese Margins. Estudos e prospecção dos recursos do solo e subsolo marinhos na Zona Económica Exclusiva Nacional (Continente, Açores, Madeira).

Se ha colaborado y apoyado activamente en la elaboración de este proyecto, financiado por el programa de Ciencias Marinas de Portuga.. Se ha realizado una activa colaboración hispano-portuguesa entre los investigadores del proyecto MATESPRO y MVSEIS, tanta en la planificación y desarrollo de campañas geofísicas marinas del MATESPRO como en interpretación e intercambio de base de datos sísmicos.

□ **Proyecto CADISAR (Francia): Processus Sédimentaires sous l´action de courants de contour et courants gravitaires, paleocirculations**

Este es un proyecto nacional francés del IFREMER y la Universidad de Bourdeaux para el estudio de depositos contouriticos, cuyo investigador principal es el Dr. Thierry Mulder. Se esta colaborando en el calado entre sondeos obtenidos durante el proyecto europeo IMAGES y los perfiles de sísmica de alta resolución realizados durante el proyecto TASYO y los realizados en la campaña MVSEIS. Asimismo, investigadores del proyecto MVSEIS han participado en la campaña CADISAR a bordo del "*Suroit*" en verano del 2001.

□ **Proyecto PRISME ATLANTIDE (Francia, Programme ATIP, INSU/CNRS)**

Este proyecto titulado "*The deep structure of the acretionary wedge and natural hazard in the Gulf of Cádiz*". Se han realizado las campañas DELILA y DELILA-2 en el buque oceanográfico "*Suroit*" (IFREMER) incluida dentro de la participación en el proyecto EUROCORE-EUROMARGIN "MVSEIS".

□ **Proyecto GAP (Alemania): Gibraltar Arc Processes**

Este es un proyecto nacional aleman para el estudio de los procesos subamrinos y tectónicos en el Arco de Gibraltar cuyo investigador principal es el Dr. akim Kopf de la Univ. Freiburg. Se ha participado en la campaña del GAP a bordo de B/O "*Sonne*" en el año 2003.

10. PUBLICACIONES RECIENTES DEL GRUPO INVESTIGADOR

- Díaz-del-Río, V., Somoza, L., Martínez-Frias, J., Mata, M.P., Delgado, A., Hernandez-Molina, F.J., Lunar, R., Martín-Rubí, J.A., Maestro, A., Fernández-Puga, M.C., León, R., Llave, E., Medialdea, T., Vázquez, J.T. (2003). **Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Marine Geology* 195, 1-4, 177-200.**
- Fernández-Puga M. C., Vázquez J. T., Somoza, L. Díaz del Río V., Medialdea T. and Mata M. P., León. R. (2007). **Gas-related morphologies and diapirism in the Gulf of Cádiz. *Geo-Mar Lett.* doi: 10.1007/s00367-007-0076-0**
- Fernandez-Salas, LM; Lobo, FJ; Hernandez-Molina, FJ; Somoza, L; Rodero, J; del Rio, VD; Maldonado, A. (2003). **High-resolution architecture of late Holocene highstand prodeltaic deposits from southern Spain: the imprint of high-frequency climatic and relative sea-level changes. *Continental Shelf Research* 23 (11-13): 1037-1054.**
- González, F. J., Somoza, L., Lunar, R., Martínez-Frías, J., Martín Rubí, J. A., Díaz del Río, V. (2007). **Fe-Mn nodules associated with hydrocarbon seeps: the new discovery of the Gulf of Cadiz (eastern Central Atlantic). *Episodes* Vol. 30, nº 3, 187-196.**
- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Somoza, L., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A., León, R., Medialdea, T., Barnolas, A., García, M., Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Alveirinho Dias, J.M., Rodero, J., Gardner, J. (2003). **Looking for clues to paleoceanographic imprints: a diagnosis of the Gulf of Cadiz contourite depositional systems. *Geology* 31 (1): 19-22**
- Hernández-Molina, F. J.; Llave, E.; Stow, D.A.V.; García, M.; Somoza, L.; Vázquez, J.T; Lobo, F.; Maestro, A.; Díaz del Río, V.; León, R.; Medialdea, T. Gardner, J. (2006). **The Contourite Depositional System of the Gulf of Cadiz: a sedimentary model related to the bottom current activity of the Mediterranean Outflow Water and the continental margin characteristics. *Deep-Sea Research II*, 53: 1420-1463.**
- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., Maestro, A., Díaz del Río, V. (2006). **Classification of sea-floor features associated with methane seeps along the Gulf of Cádiz continental margin. *Deep-Sea Research II*, 53: 1464-1431.**
- 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 carbonate-mud mounds of the Gulf of Cádiz: from mud flows to carbonate precipitates. *Geo-Marine Letters* DOI 10.1007/s00367-007-0074-2**
- Llave, E., Schönfeld J., Hernandez-Molina, F.J., Mulder, T., Somoza L., Diaz del Rio, V. and Sanchez-Almazo (2006). **High-resolution stratigraphy of the Mediterranean outflow contourite system in the Gulf of Cadiz during the Late Pleistocene: The impact of Heinrich events. *Marine Geology* 227, 241-262.**
- Llave, E., Hernández-Molina, F. J., Somoza, L., Stow, D., Díaz del Río, V. (2007). **Quaternary evolution of the Contourite Depositional System in the Gulf of Cadiz. In: *Economic and Paleoceanographic Importance of Contourites*, Viana, A. and Rebesco, M. (Eds.). Geological Society of London Special Publication 276, pp. 49-80.**
- Lobo, FJ; Hernandez-Molina, FJ; Somoza, L; del Rio, VD; Dias, JMA. (2002). **Stratigraphic evidence of an upper Pleistocene TST to HST complex on the Gulf of Cadiz continental shelf (south-west Iberian Peninsula). *Geo-Marine Letters* 22 (2): 95-107.**
- Lobo F.J., Fernández-Salas L.M., Hernández-Molina F.J., González R., Dias J.M.A., Díaz del Río V. and L. Somoza, (2005). **Holocene highstand deposits in the Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula: A high-resolution record of hierarchical environmental changes. *Marine Geology* 219 (2-3): 109-131.**
- Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz-del-Río, V., Stow, D.A.V., Maestro, A. (2001). **Seismic stacking patterns of the Faro-Albufeira contourite system (Gulf of Cadiz): a Quaternary record of paleogeography and environmental changes. *Marine Geophysical Research* 22: 487-508.**
- Maestro, A, Somoza, L, Medialdea, T, Talbot, CJ; Lowrie, A; Vazquez, JT; Diaz-del-Rio, V. 2003. **Large-scale slope failure involving Triassic and Middle Miocene salt and shale in the Gulf of Cadiz (Atlantic Iberian Margin). *Terra Nova* 15 (6): 380-391.**
- Martín-Puertas, C., Fernández-Puga M.C., Mata M.P., Vázquez Garrido J.T., Díaz del Río V. y Somoza L. 2006. **Naturaleza de la brecha fangosa de volcanes de fango del Golfo de**

- Cádiz: sistema diapírico del Guadalquivir y zona Tasyo. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19(3-4), 200-220.**
- Martín-Puertas, M. P. Mata, M. C. Fernández-Puga, V. Díaz del Río, J. T. Vázquez, L. Somoza. **2007. A comparative mineralogical study of gas-related sediments of the Gulf of Cádiz. *Geo-Marine Letters* DOI 10.1007/s00367-007-0075-1**
- Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz-del-Río, V., Maestro, A., Córdoba, D, M. C. Fernández-Puga, (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, 1-4, 173-19.**
- Silva P.G., Goy J.L., Zazo C., Bardají, T., Lario, J., Somoza, L., Luque, L. y F.M. Gonzalez-Hernández. **(2006). Neotectonic fault mapping at the Gibraltar Strait Tunnel area, Bolonia Bay (South Spain). *Engineering Geology*, Volume 84, 1-2: 31-47.**
- Pinheiro L. M., Ivanov, M. K., Sautkin, A., 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. Sedimentary Processes and Seafloor Hydrocarbon Emission on Deep European Continental Margins. *Marine Geology* 195, 1-4, Pages 131-151.**
- Somoza, L. V., Díaz-del-Río, R. León, M. Ivanov, M.C. Fernández-Puga, J.M. Gardner, F. J. Hernández-Molina, L.M. Pinheiro, J. Rodero, A. Lobato, A. Maestro, J.T. Vázquez , T. Medialdea , L.M. Fernández-Salas. **(2003). Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cádiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology* 195, 1-4, 153-176**
- Somoza, L., Gardner, J.M., Díaz-del-Río, V., Vazquez, T., Pinheiro, L., Hernández-Molina, F. J. and TASYO/ANASTASYA shipboard scientific parties. **(2002). Numerous methane gas related seafloor structures identified in the Gulf of Cádiz. *EOS Transactions AGU* 83 (47): 541-547.**
- Somoza L., Vazquez T. **(2005). 'The Geology of the Gulf Cádiz' Symposium held on VI Geological Congress of Spain. *Episodes* , vol, 28, no. 3, pp. 217-218.**
- Stow, D.A.V., Faugeres, J.C., Gonthier, E., Cremer, M., Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz-del-Río, V., **(2002) Faro-Albufeira Drift Complex, Northern Gulf of Cadiz. In: D A V Stow, C J Pudsey, J A Howe, J-C Faugeres & A R Viana (Eds). *Deep-Water Contourites: Modern Drifts and Ancient Series, Seismic and Sedimentary Characteristics*.**
- Vegas, R., Medialdea, T. Muñoz, M., Diaz del Rio, V., Somoza, L. **(2004). Nature and tectonic setting of the Guadalquivir Bank (Gulf of Cádiz, SW Iberian Peninsula). *Rev. Soc. Geol. España*, 17 (1-2), 43-54.**

ANEXO I: Resumen proyecto MVSEIS EUROCORE-EUROMARGINS

MVSEIS: TECTONIC CONTROL, DEEP CRUSTAL STRUCTURE AND FLUID ESCAPE PATHWAYS IN THE GULF OF CADIZ MUD VOLCANO FIELD

Objective: to investigate the deep crustal structure, the tectonic control and the detailed geometry of the fluid escape pathways in two areas of active mud volcanism in the Gulf of Cadiz, from where gas hydrates have been recovered. This proposal could be extended to include the Norwegian Margin (Haakon Mosby mud volcano).

Specific objectives include:

- To better understand the deep crustal structure of the Gulf of Cadiz and to unravel the links between the deep faulting in the accretionary complex/olistostrome, the sedimentary section and the locus of the active fluid escape structures.
- to obtain high resolution 3D images of the active mud volcanoes at depth.
- To image the fluid conduits

General Scope: Extensive mud volcanism, pockmarks, mud diapirism and carbonate chimneys related to hydrocarbon rich fluid venting are observed throughout the Gulf of Cadiz. A large mud volcano field (15 mud volcanoes already confirmed by coring) was discovered in this area in 1999, at water depths between 700 and 3500 m. It has been intensively investigated by single channel seismics, long range and deep-tow sidescan sonar, underwater TV, dredging and coring. The sediments from the mud volcanoes show obvious indications of gas-saturation: degassing structures, a strong H₂S smell, chemosynthetic fauna (such as Pogonophora tube worms) and authigenic carbonates. Gas hydrates were recovered from the top of two active mud volcanoes: Ginsburg (910m wd) and Bonjardim (3060m wd). The gas released from the hydrates is essentially hydrocarbonic with a high content of methane homologues, indicating its thermogenic nature and suggesting the existence of hydrocarbons and gas-rich overpressured sediments at depth, and the upward migration of these fluids and fluidized sediments along faults to the seafloor. Pore-water composition studies suggest that gas hydrates are likely to exist in other mud volcanoes in the area.

Although some of the widespread shallow fluid venting on the seafloor in the northern part of the Gulf of Cadiz may be related to the destabilization of gas hydrate rich sediments in contact with the Mediterranean Outflow, most of the mud volcanism, in particular the active mud volcanoes in deep water, appear to be tectonically controlled (some mud volcanoes are located along major NW-SE and NE-SW trending faults observed on side-scan imagery). All the mud volcanoes and diapirs lie in the region of the olistostrome/accretionary complex units, emplaced in the Late Miocene, in response to the NW directed convergence between the African and the Eurasian plates. High amplitude reflectors within the chaotic olistostrome body may correspond to frontal imbricate low-angle thrusting and the extensive faulting and diapirism in the area may have provided conduits for fluid expulsion including brines, oil, gases and fine sediment to the continental slope surface. The most active sites appear to be located in the westernmost part of the field, suggesting an westward progression of the deformation front. However, it has not been possible until now neither to clearly define the fluid escape pathways that control the location and degree of activity of the mud volcanoes, nor to obtain high resolution images of the structure at depth of these features. In particular, penetration of the olistostrome/accretionary complex units is very difficult and requires strong seismic sources and innovative techniques.

To understand the fluid migration processes and fully access their potential economic interest and associated natural hazards (sudden large scale release of methane from gas hydrates has the potential to cause large climate changes, slope instabilities and may represent a serious hazard for seafloor activities like oil exploration) it is necessary to know in detail the sedimentary sequence, the 3D structure at depth of the fluid escape structures and pathways and to understand how such activity is controlled by the regional tectonics, seismicity (addressed in a related proposal) and the evolution of the stress field through time. To attain these objectives it is necessary to look at these structures in 3D at different scales and to use high resolution techniques. This requires adequate powerful gun arrays to achieve penetration through the olistostrome/accretionary complex, followed by detailed active/passive 3D surface seismics, tomographic experiments and high resolution bottom seismics in the most interesting structures for the Cadiz area, to unravel the geometry at depth of the structures that control the fluid escape and to image the roots of the mud volcanoes.

We propose to acquire: (1) deep seismic profiles (reflection, wide-angle and OBS tomography, possibly including vertical arrays of hydrophones) that will cover one of the main gaps of such data in the Gulf of Cadiz, to unravel the deep crustal structure, the structural control of the active mud volcanoes and to give accurate estimates of seismic velocities; (2) industry 3D multichannel seismics combined with OBS recording to obtain accurate images of the local structure around the active sites; (3) high resolution, closely spaced deep-tow seismic profiles, if possible with source and receptors at depth (like the Ifremer Pasisar system) to image in detail the upper hundred meters of the fluid escape structures

Activities and Operations:

- Compilation of all the available seismic reflection and refraction lines in the study area (partly acquired by the proponents of this proposal). This includes: (1) deep multichannel seismic reflection profiles, some of which with coincident wide-angle data (IAM, RIFANO92, SISMAR, MATESPRO, VOLTAIRE); (2) multichannel industry profiles; (3) high resolution seismic data. (IGME, IGM,UA,UCA,IEO,ICTJA-CSIC).
- Pre-stack depth migration of the most representative deep seismic reflection profiles, with AVO/AVA analysis and careful multiple removal techniques (collaboration with Geomar, Kiel is envisaged).
- Acquisition of 4-6 long deep seismic reflection lines (IGM(Port), UA, UL, IGM(Ita), IGME, ICTJA-CSIC, UCA) in the southeast part of the Gulf of Cadiz, with OBS deployment along the lines across the two most active mud volcano fields, where such coverage is inexistent. It is intended to mobilize over 100 OBS's from various European institutions, with an optimum spacing of 5-10 km. Simultaneous gravity and magnetic data will be acquired.
- a) Acquisition of high resolution deep tow seismic profiles, with source and receivers at depth (Pasisar?) (IGM, ITGE, ICTJA-CSIC,UA, Ifremer).
- b) Acquisition of 2 localized 3D-multichannel industry data surveys (industry collaboration will be sought), with simultaneous ocean bottom recording by a large OBS array over the two most active mud volcanic structures (Bonjardim and Ginsburg mud volcanoes).
- c) Compilation of the available gravity and magnetic data and 2D and 3D modelling, constrained by seismic reflection profiles to understand the deep structure in the area (Oxford,UL,UA, IGME,IEO,UCA,ICTJA-CSIC).
- d) Callibration of the main seismic stratigraphic units with available borehole data and land geology studies of the outcrops of these units onshore (Morocco, Spain and Portugal). This will be compared with data from clasts recovered in the mud volcanoes, currently underway (IGM, UA,UL).

Deliverables:

- (1) Integrated 3D model of the detailed structure at depth of the areas of active mud volcanoes; (2) scientific publications in international peer reviewed scientific journals; (3) Integrated GIS database (ArcInfo) accessible to the European scientific community; (4) Updated progress reports on a Web Page; (5) Annual reports.

Equipment:

- OBS's from Portugal, Spain and other European Institutions (Geomar, Ifremer, Cambridge/UK).
- High resolution seismics from Portugal (IGM), Spain (IGME) and France (Ifremer).
- Rent of an industry ship, hopefully in a collaborative scheme to lower the costs, to acquire the detailed multichannel 3D survey over the 2 active sites.
- Deep multichannel seismic acquisition (IGM/Ita), ICTJA-CSIC, UA, UL, IGME, IEO,UCA, Ifremer).

Rough Estimate k€ 3000, for 5 years: This includes: (1) 3 scientific cruises, (2) acquisition and development of software/hardware for processing the seismic data; (3) land geology surveys. (4) personnel (including PhD students, post-docs), travel, administration, consumables, laboratory costs, etc. These costs can be significantly lowered if collaborative work with industry is possible.

Partners (envisaged partners in *italic*): Portugal (IGM,UA,UL), Spain (IGME, IEO, UCA, ICTJA/CSIC), France (IUEM, Ifremer), Italy (IGM), United Kingdom (Oxford, SOC), Germany (Geomar). Cooperation with industry (Statoil, TGS-NOPEC, etc.) will be sought. Collaboration with the US Naval Research Laboratory (Joan Gardner) and the Moscow State University (Michael Ivanov), who have a considerable experience and database in this area, is also envisaged.