

# **Génesis de carbonatos autigénicos asociados a volcanes de fango del Golfo de Cádiz (SW España): influencia de procesos bioquímicos y desestabilización de hidratos de gas**

Marta Rejas Alejos

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



**Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica  
Universitat de Barcelona  
Programa de Doctorat de Ciències de la Terra  
Bienni 2004-2006**

**Génesis de carbonatos autigénicos asociados a  
volcanes de fango del Golfo de Cádiz (SW España):  
influencia de procesos bioquímicos y  
desestabilización de hidratos de gas.**

**Marta Rejas Alejos  
2009**

## *Capítulo 2. Golfo de Cádiz.*

## 2. Golfo de Cádiz.

El Golfo de Cádiz está situado al suroeste de la Península Ibérica entre 9° W-6° 45' W y 34° N-37° 15' N (van Rensbergen et al., 2005) (figura 2.1a). Está limitado por la costa meridional de Portugal, la costa sud-oriental de España y las costas nororientales de África. Al Este está conectado con el Mar de Alborán a través del Estrecho de Gibraltar.

La batimetría de la zona oscila entre 200 y 250 m, en la zona situada en el oeste, y hasta 4000 m en las zonas de talud cercanas a la llanura abisal (Fernández-Puga, 2004; van Rensbergen et al., 2005).

La zona del Golfo de Cádiz se ha visto fuertemente modificada por procesos tectónicos, por sistemas diapíricos y por procesos de erosión y sedimentación asociados, de modo especial, a la masa de agua que, procedente del Estrecho de Gibraltar, se desplaza a lo largo del talud medio y superior del Golfo de Cádiz. En esta zona existe una gran tasa de sedimentación detrítica debida a la desembocadura de varios ríos cuyas cuencas drenan grandes áreas de la Península Ibérica y arrastran un gran volumen de material.

### 2.1. Geología del Golfo de Cádiz.

La geología del Golfo de Cádiz es bastante compleja y todavía se encuentra bajo debate (Sartori et al., 1994; Maldonado et al., 1999; Gutscher et al., 2002; van Rensbergen, 2005,) ya que se encuentra enclavada en el límite entre las placas euroasiática y africana, justo en el frente del Arco de Gibraltar. Además, su evolución tectónica ha sido fuertemente controlada por el desarrollo de las Cordilleras Béticas debido a que la parte más externa de este orógeno quedó emplazada sobre el margen continental del Golfo de Cádiz.

Hasta hace pocos años, la mayoría de los estudios realizados en el Golfo de Cádiz se centraban en la parte más cercana al margen de la plataforma (Flinch et al., 1996; González et al., 1998; Lobo et al., 2001; Tortella et al., 1997), lo que impedía tener información sobre la evolución de las diferentes unidades estructurales que forman el Golfo de Cádiz. En la actualidad se han publicado algunos estudios que facilitan información de las partes más externas del Golfo de Cádiz (Gràcia et al., 2003; Iribarren et al., 2007), lo que ha permitido la caracterización más detallada de las diferentes unidades estructurales que lo forman.

Dentro del Golfo de Cádiz se han identificado varias unidades estructurales:

1. **unidades de Flysch** del complejo de **Campo de Gibraltar**. Formadas por secuencias de ambiente marino profundo sometido a un importante régimen de corrientes. Esta unidad se emplazó a principios del Mioceno (figura 2.1b).

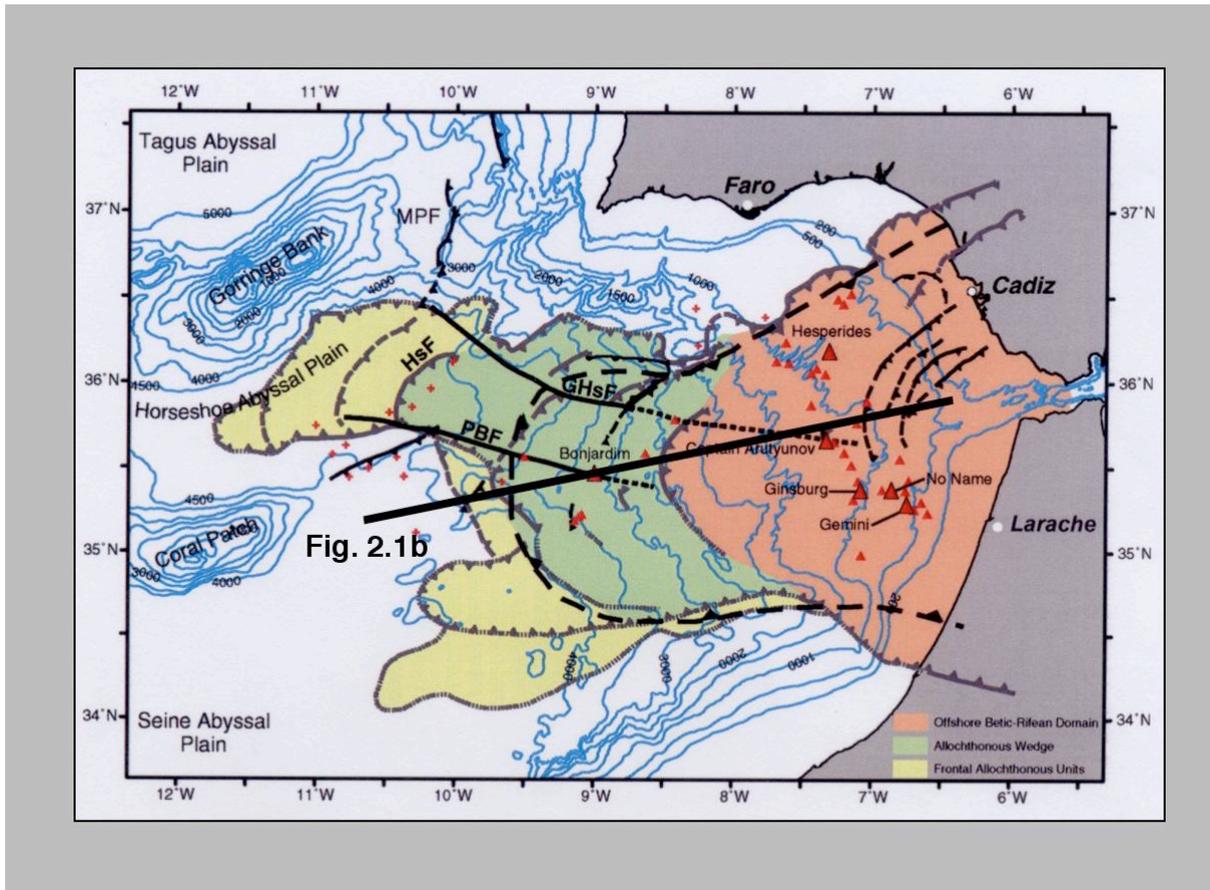


Figura 2.1a. Mapa estructural simplificado del Golfo de Cádiz. Se localizan los volcanes de fango capitán Arutyunov, Bonjardim, Ginsburg, Gemini, Hésperides y No Name. Se ha delimitado la unidad estructural Bética (naranja), la unidad "Gulf of Cadiz Imbricate Wedge" (verde) y la unidad gravitacional frontal (amarillo) modificado de Hensen et al. (2007).

**2. zonas externas béticas.** Se dispone por debajo de las unidades de flysch y está formada por sedimentos del Jurásico inferior al Cretácico superior.

**3. zona diapirica triásica.** Compuesta principalmente por sales, yesos y carbonatos que se disponen por encima de los sedimentos del Mesozoico (Berástegui et al, 1998).

**4. frente de la unidad alóctona.** Formado principalmente por arcillas y margas del Mioceno medio (Maldonado et al, 1999).

**5. unidad Alóctona del Guadalquivir:** Esta unidad ha recibido varios nombres dependiendo del autor: Unidad Alóctona del Guadalquivir (Berástegui et al., 1998), Complejo olistostómico (Medialdea et al., 2004), Cuerpo sísmicamente caótico (Torelli et al., 1997), o Unidad Olistrostrómica (Maldonado et al., 1999). El estudio de esta unidad es muy importante ya que la mayoría de volcanes de fango del Golfo de Cádiz y estructuras diapiricas se encuentran situados en la misma (Díaz del Río et al., 2003;

Fernández-Puga et al., 2007). Es un cuerpo tecto-sedimentario situado en la parte frontal del arco de Gibraltar, relacionado con procesos gravitacionales y tectónicos. La unidad Alóctona del Guadalquivir ha sido descrita como un olistostroma, ya que está formada por una masa caótica de materiales margo-arcillosos (Mioceno) que contienen grandes clastos de materiales más antiguos (evaporitas triásicas) respecto la secuencia sedimentaria que los engloba. Estos materiales se emplazaron desde el Mioceno superior (Tortonense superior) hasta la actualidad (Flinch et al, 1996; Somoza et al, 2003, Medialdea et al., 2004; Fernández-Puga et al., 2007). En la actualidad, esta unidad se ha dividido en dos dominios diferentes en función de su estructura interna y geometría; la zona de “Cuña imbricada del Golfo de Cádiz” (Gulf of Cadiz Imbricate Wedge) y la “unidad gravitacional frontal” (Horseshoe Gravitational Unit) (figura 2.1a).

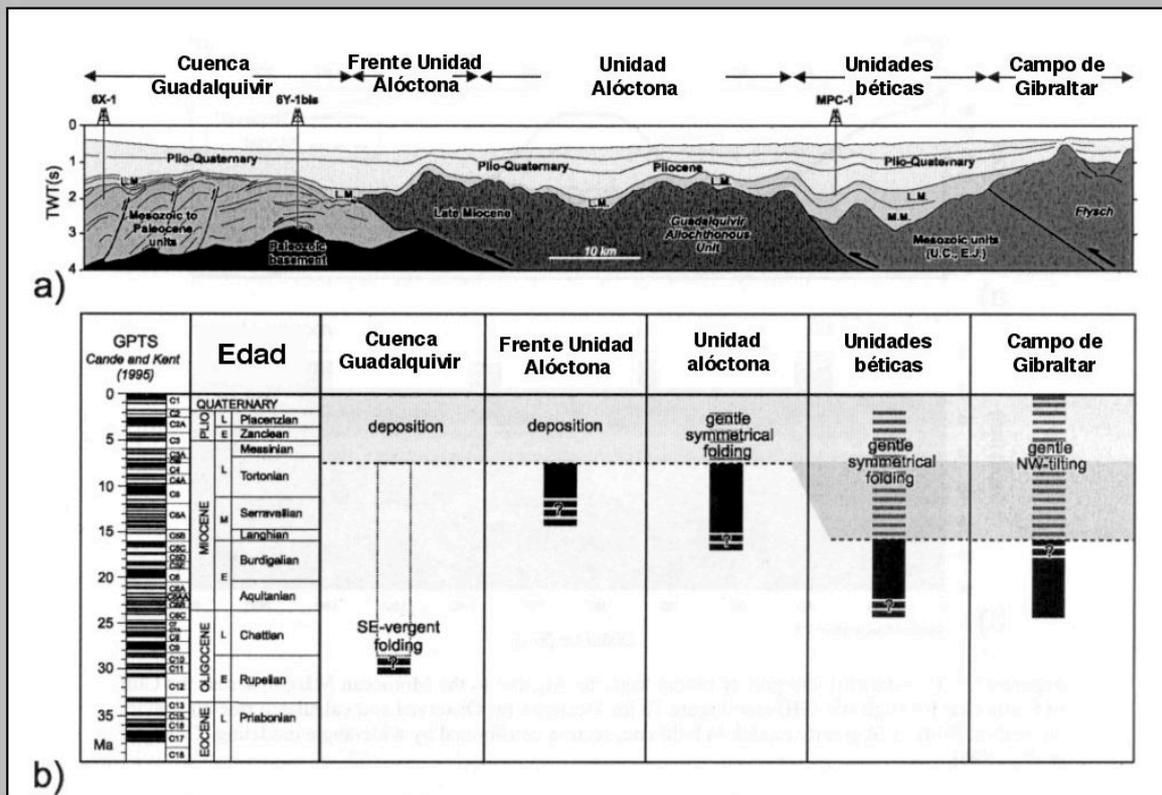


Figura 2.1b. A) Corte que muestra las diferentes unidades estructurales: Campo de Gibraltar, unidades Béticas externas, unidad alóctona del Guadalquivir y frente de la unidad alóctona. B) Datación del emplazamiento de las diferentes unidades. GPTS: escala de polaridad geomagnética (Cande y Kent, 1995; Gràcia et al., 2003).

## 2.2. Estratigrafía del Golfo de Cádiz.

Existen numerosos trabajos realizados sobre la estratigrafía del Golfo de Cádiz (Lajat et al., 1975; Malod, 1979; 1982; Martínez del Olmo, 1984; 1996; Riaza, 1996; Rodero, 1999; Maldonado et al, 1999) y todos coinciden en que las unidades litoestratigráficas a partir del Mioceno están influenciadas por el emplazamiento de la Unidad Alóctona del Guadalquivir, que deforma las unidades depositadas con anterioridad y condiciona las unidades depositadas posteriormente ( Fernández-Puga, 2004).

A continuación se describen las diferentes unidades estratigráficas (figura 2.2):

**1. Basamiento.** En la parte sudoriental del Golfo de Cádiz, próxima al Estrecho de Gibraltar, el basamiento corresponde a bloques fallados de flysch y de las unidades Subbéticas. Sin embargo, en el sector noroccidental, está formado por materiales paleozoicos pertenecientes al Macizo Ibérico, deformado durante la orogenia hercínica. Por encima de este basamiento paleozoico, la cobertera sedimentaria tiene un espesor que oscila entre 7 y 11 Km y está formada por materiales que van desde el Mesozoico hasta la actualidad (Fernández-Puga, 2004).

**2. Triásico.** Los materiales de este periodo se han dividido en dos subunidades, TR1 Y TR2 (Maldonado et al, 1999) (Figura 2.2). La unidad inferior (TR1) está formada por areniscas, arcillas y rocas volcanogénicas. La unidad superior (TR2) está constituida principalmente por evaporitas, estando formada su parte inferior por capas de anhidrita, sales potásicas y capas de arcilla roja, y su parte superior por arcillas rojas con capas de anhidrita.

**3. Jurásico Inferior y Medio.** Los materiales de esta unidad corresponden a la unidad LJ. Está formada por calizas margosas en la parte inferior y por dolomías en la parte superior.

**4. Jurásico Superior y Cretácico Inferior.** Corresponden a la unidad UJ-LK1 (figura 2.2) que está formada por dos secuencias: una inferior de calizas grises verdosas, con fragmentos de algas y foraminíferos, cuya edad está comprendida entre el Kimmeridgiense y el Titoniense, y otra superior, de calizas algales y dolomías, desarrolladas desde el Valanginiense hasta el Barremiense.

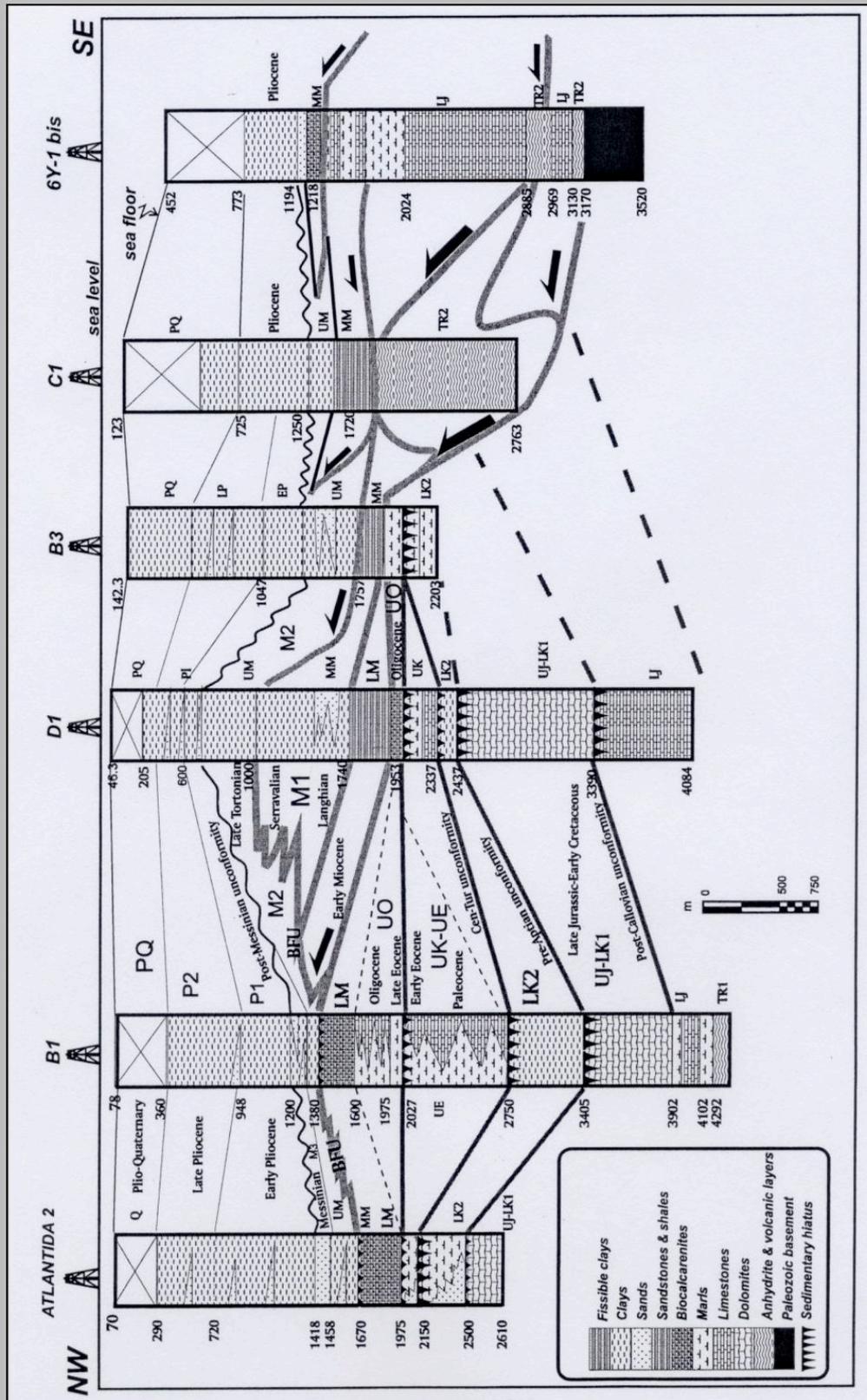


Figura 2.2. Unidades estratigráficas definidas a partir varios sondeos petrolíferos realizados en varias zonas a lo largo del talud del Golfo de Cádiz (Maldonado et al, 1999).

**5.Cretácico Medio.** Corresponde a la unidad LK2 (Maldonado et al., 1999). Está constituida por una secuencia de limos y pizarras con intervalos de arcillas negras y conglomerados. Se ha atribuido a depósitos de talud.

**6.Cretácico Superior-Eoceno.** La parte más moderna de este periodo corresponde a los primeros depósitos terciarios del Golfo de Cádiz. Están asociados a los últimos episodios de actividad extensional en el margen continental y están constituidos por un conjunto de arcillas verdes, calizas, margas y arcillas.

**7.Oligoceno-Mioceno Inferior.** Este periodo está representado principalmente por carbonatos de plataforma bien estratificados con Nummulites y fragmentos de algas.

**8. Mioceno.** Esta unidad (denominada C3) está constituida, en el margen portugués, por depósitos marinos de origen terrígeno, mientras que en el talud está formada por arenas, limos y arcillas propias de ambiente marino. Forma parte de estos depósitos la unidad alóctona (ver apartado 2.1).

**9.Plioceno-Cuaternario.** Está formada principalmente por arcillas. En la parte inferior de la secuencia, se encuentran depósitos hemipelágicos de arcillas arenosas junto con depósitos arenosos turbidíticos, así como facies de abanicos submarinos ligados a sistemas de depósitos profundos. El Plioceno superior está formado por arcillas y arenas que forman en la parte superior depósitos turbidíticos.

**10.Sedimentación actual.** La sedimentación actual del Golfo de Cádiz depende de los aportes terrígenos procedentes del desmantelamiento del Macizo Ibérico y del Sistema Bético. Está influenciada por la dinámica y el intercambio de las masas de agua atlántica y mediterránea a través del estrecho de Gibraltar. Contiene depósitos fangosos de prodelta y facies de progradación.

### **2.3. Estructuras diapíricas en el Golfo de Cádiz.**

Se han observado aproximadamente 20 estructuras diapíricas en la Unidad Alóctona del Guadalquivir. Se encuentran a profundidades que oscilan entre 300 y 1.100 m, presentan morfologías elongadas y longitudes que pueden superar los 80 Km (Fernández-Puga et al., 2007).

Dentro de la Unidad Alóctona se han diferenciado dos tipos de estructuras diapíricas en función de su relación con las estructuras tectónicas que afectan a la Unidad Alóctona. Las dos clases de estructuras diapíricas son:

- **diapiros asociados a estructuras extensionales:** son muy escasos dentro de la Unidad Alóctona y se encuentran normalmente en los límites de la unidad.

- **diapiros asociados a estructuras compresivas:** la mayoría de las estructuras diapíricas se encuentran en la parte central de la Unidad Alóctona, asociadas a estructuras compresivas y generalmente deformadas asimétricamente. Se han diferenciado tres estructuras diapíricas principales en la parte media de la Unidad Alóctona del Guadalquivir (figura 2.3a):

- **Cresta diapírica de Cádiz ("Cadiz Diapiritic Ridge"):** tiene una longitud de 40 Km, una amplitud que oscila entre 1 y 14 Km, y la dirección de su emplazamiento es NNE-SSW. La cresta de esta estructura diapírica se encuentra a una profundidad entre 400-800 m y se encuentran deformando materiales del Plio-Cuaternario. Esta estructura diapírica se encuentra en el Campo de Volcanes de Fango Tasyo (figura 2.3b).

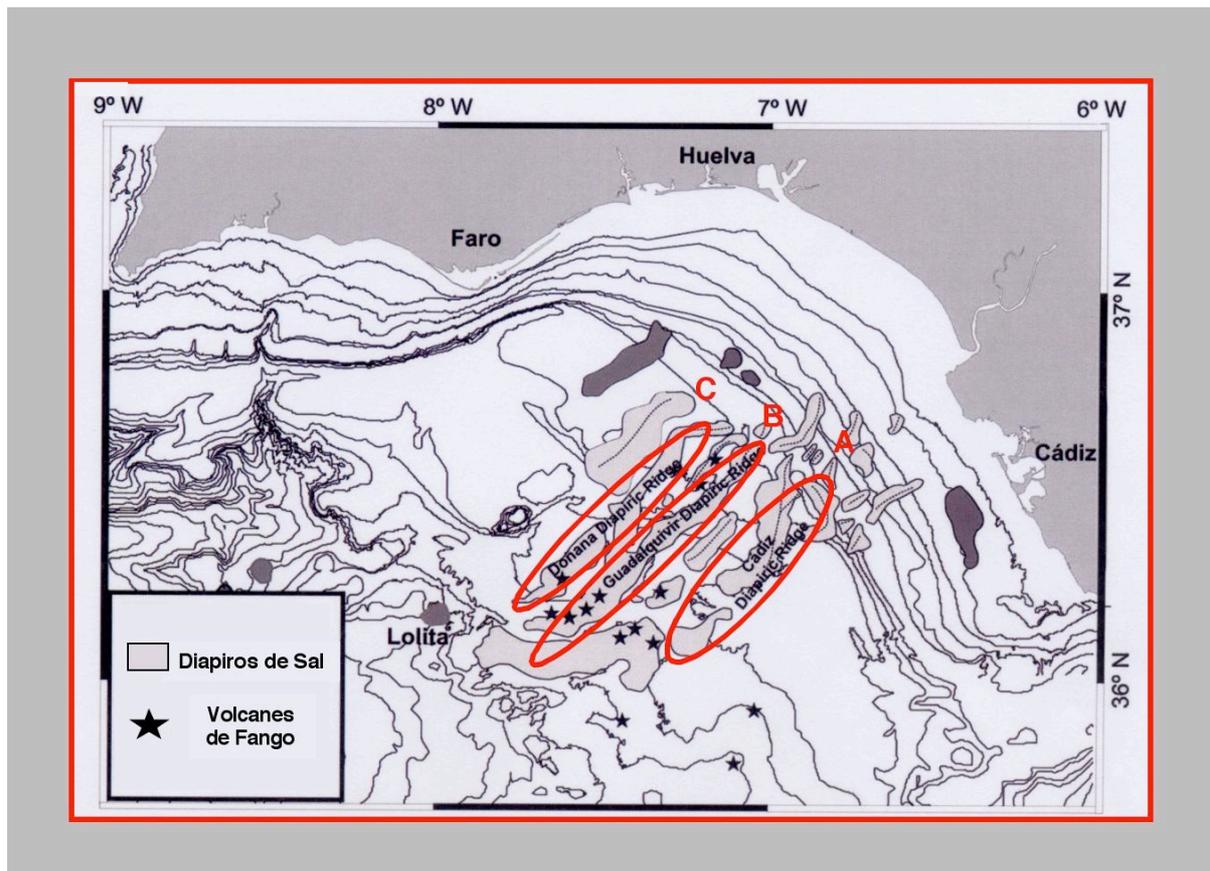


Figura 2.3a. Batimetría de las tres principales estructuras diapíricas reconocidas en la Unidad Alóctona del Guadalquivir. Una gran parte de los volcanes de fango conocidos en la Unidad Alóctona están relacionados con estructuras diapíricas. A: Cresta diapírica de Cádiz, B: Cresta diapírica del Guadalquivir, C: Cresta diapírica de Doñana (modificado a partir de Medialdea et al., 2008).

- **Cresta diapírica de Guadalquivir (“Guadalquivir Diapiritic Ridge”)**: es la estructura diapírica más larga, con una longitud máxima de 86 Km y un grosor que oscila entre 6-10 Km. Se encuentra dispuesta en dirección NE-SW. Sus partes más altas muestran estructuras migración de gas como volcanes de fango, estructuras de colapso (cráteres y pockmarks) y montículos de fango. Esta estructura pertenece al Campo de Volcanes de Fango Diasom (figura 2.3b), en el que se ha observado una elevada concentración de volcanes de fango, montículos de fango y carbonatos asociados a la circulación de metano. Tres montículos de fango pertenecientes a esta unidad diapírica serán estudiados en la presente tesis. Concretamente los montículos de fango Ibérico, Cornide y Arcos (ver capítulo 5).

- **Cresta diapírica de Doñana (“Doñana Diapiritic Ridge”)**: se encuentra al norte de la estructura diapírica de Guadalquivir (figura 2.3a). Tiene una longitud de 53 Km y un grosor que oscila entre 3 y 6 Km. En la parte alta de esta estructura se han observado volcanes de fango (Fernández-Puga et al., 2007).

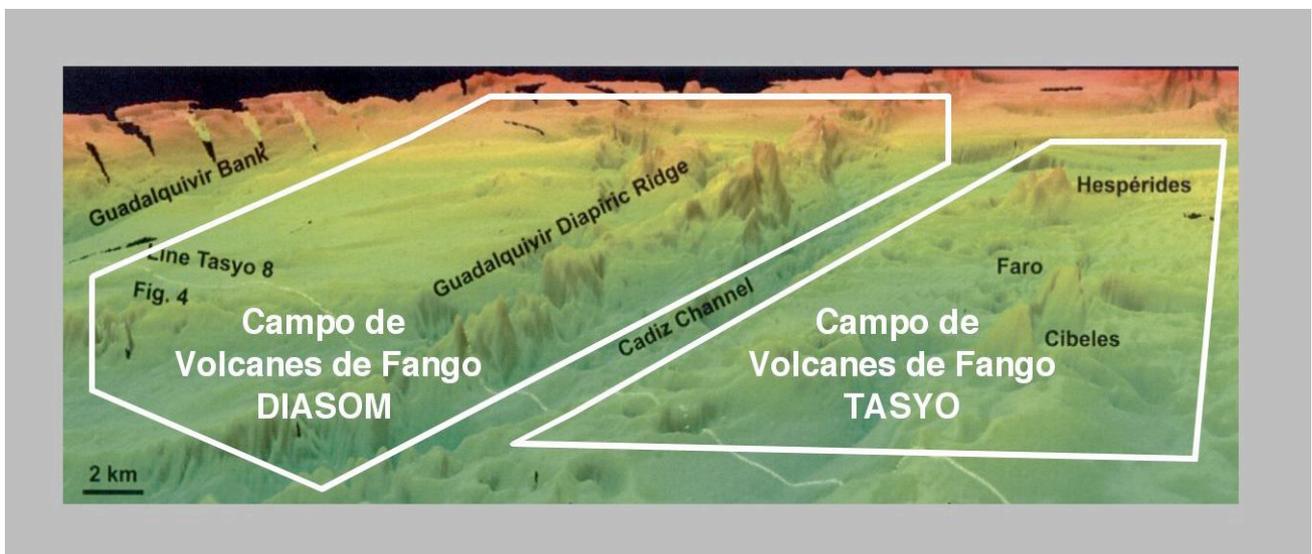


Figura 2.3b. Batimetría 3D de parte de la Unidad Alóctona del Guadalquivir. Se observa una parte del Campo de Volcanes de Fango Diasom, dónde se aprecia la Estructura Diapírica de Guadalquivir. Se han situado los volcanes de fango Faro y Cibeles, y el Complejo de Volcanes Hespérides situados a su vez en el Campo de Volcanes de Fango Tasyo (modificado de Medialdea et al., 2008).

## 2.4. Origen del metano en el Golfo de Cádiz.

Hasta la actualidad se han publicado diversos artículos sobre el origen del metano del Golfo de Cádiz ya sea mediante el estudio de carbonatos, ya analizando gas emitido por los volcanes de fango. Resumimos a continuación algunos de los resultados obtenidos :

- **Díaz del Río et al, (2003)**. Interpreta que los materiales carbonatados se han formado a partir de la mezcla entre metano de origen termogénico, asociado a hidrocarburos profundos, y metano de origen biogénico.

- **Shuvalov, A. (2005)**. Obtiene valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que varían entre -20.2 y -48.3 ‰ V-PDB en carbonatos, y en este caso el autor afirma que el origen del metano es termogénico.

-**van Rensbergen et al., (2005)**. Presenta el análisis químico del metano emitido por los volcanes que forman el complejo de volcanes de fango El Arraiche, afirmando que la relación  $\text{C}_1/\text{C}_2$  en el volcán de fango Al Idrissi es típica de metano de origen biogénico, mientras que en el volcán de fango Gemini el origen del metano es termogénico, por lo que en el mismo Complejo de volcanes de fango, el metano tendría dos orígenes distintos.

Hasta el momento pues, existen indicios de que la composición del metano en el Golfo de Cádiz puede tener tanto un origen termogénico como biogénico. En el caso del origen de metano asociado a la formación de carbonatos autigénicos no se ha podido clarificar su origen porque los valores isotópicos obtenidos se encuentran en la zona de no definición (posible mezcla) entre metano termogénico y biogénico (ver apartado 1.1.1, figura 1.1.1a).