

Convocatoria de ayudas de Proyectos de Investigación Fundamental no orientada

MEMORIA TÉCNICA PARA PROYECTOS TIPO A o B

1. RESUMEN DE LA PROPUESTA (Debe rellenarse también en inglés)

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Ivone Jiménez Munt

TÍTULO DEL PROYECTO:

Caracterización del manto litosférico debajo de la cadena orogénica Alpina a partir de métodos numéricos: Comparación entre Atlas, Tíbet y Zagros

Acrónimo: **ATIZA**

RESUMEN

(breve y preciso, exponiendo solo los aspectos más relevantes y los objetivos propuestos)

Nos proponemos estudiar la estructura litosférica actual de tres zonas anómalas dentro del cinturón Alpino-Himalaya: Atlas, Tíbet y Zagros. Pese a tratarse de tres escenarios con una historia geológica diferente, colisión continental en Himalaya y el Zagros y estructuras de aulacógeno en el Atlas, comparten características anómalas comunes: bajas velocidades sísmicas, volcanismo básico, una componente topográfica dinámica importante, y un déficit subcortical de masa atribuido a un adelgazamiento del manto litosférico.

Trabajos recientes en petrología muestran la dependencia de la densidad del manto con la composición, temperatura y evolución tectónica. A través de este proyecto nos proponemos hacer una revisión crítica de las características del manto, su composición mineralógica y su efecto en la densidad, y cuantificar las variaciones de su espesor en las tres cadenas. Esto nos permitirá caracterizar la estructura del manto para evaluar la topografía dinámica, su estado evolutivo y estimar el mecanismo de los procesos que llevan a una posible pérdida del manto litosférico (por delaminación, eliminación convectiva, *slab break-off*, etc).

Para esto, proponemos usar técnicas numéricas que integran las ecuaciones de campos potenciales (gravimetría y geode), isostasia (elevación), térmica (flujo de calor y distribución de temperaturas), y los modelos petrofísicos. La utilización novedosa de la petrofísica nos permitirá comparar la velocidad de las ondas sísmicas (V_p , V_s), deducidas en función de la presión, temperatura y composición mineralógica, con la tomografía sísmica existente.

Esta técnica unificada mejorará el conocimiento de la estructura litosférica debajo estos orógenos y nos permitirá evaluar los diferentes contextos geodinámicos que se han propuestos para las tres regiones.

PROJECT TITLE:

The nature of lithospheric-mantle beneath Alpine orogenic belts: A comparison between Atlas, Zagros and Tibet from numerical approaches

SUMMARY

(brief and precise, outlining only the most relevant topics and the proposed objectives)

The aim of this project is to study the present lithospheric structure of three anomalous regions along the Alpine-Himalayan belt: The Atlas, Tibet and the Zagros mountains. Although these three zones have a different geological history, with continental collision in the Himalaya and Zagros, and aulacogen structures in the Atlas, they show similar unusual characteristics: low seismic velocities, basic volcanism, an important dynamic topography component, and subcrustal mass deficit attributed to thinning of the lithospheric mantle.

Recent works in petrology have shown the dependence of the density of the mantle on its composition, temperature and tectonic evolution. With this project we aim to revise critically the mantle characteristics, the mineralogical composition, and its effect on density, and quantify the thickness variations of the three belts. This will permit us to characterize the mantle structure, evaluate the dynamic topography and its stage of evolution, and estimate the mechanical processes responsible for lithospheric mantle thinning (delamination, convective removal, slab break off, etc.).

To this end, we will use a combination of numerical techniques which integrate potential field equations (gravity and geoid) with isostatic (elevation), thermal (heat flow and temperature distribution), and petrophysical models. This novel use of petrophysical data will permit us to compare calculated seismic waves velocities (V_p , V_s), from the pressure, temperature and mineralogical composition, with existing seismic tomographic data.

Improving the understanding of the lithospheric structure beneath these orogens with a unified method will enable us to critically evaluate the various geodynamic models that have been proposed for these three regions.

2. INTRODUCCIÓN (máximo 5 páginas)

Deben tratarse aquí: la finalidad del proyecto; los antecedentes y estado actual de los conocimientos científico-técnicos, incluyendo la bibliografía más relevante; los grupos nacionales o internacionales que trabajan en la misma materia específica del proyecto o en materias afines.

Finalidad

La finalidad de este proyecto es la de determinar la estructura mantélica de las tres zonas anómalas dentro del cinturón Alpino-Himalaya (Atlas, Tíbet y Zagros), haciendo un estudio detallado de la densidad mantélica en función de sus características petrológicas y mineralógicas.

En particular, teniendo en cuenta las variaciones de composición mantélica, poder evaluar el grosor de manto litosférico debajo de las tres cadenas. Esto permitirá evaluar la topografía dinámica, su estado evolutivo y los posibles procesos geodinámicos responsables de la actual topografía y estructura litosférica.

Antecedentes y estado actual del conocimiento

Estudios recientes han puesto de manifiesto la estrecha relación entre la evolución de la topografía y de la corteza y manto superior en profundidad. Las zonas de colisión continental han sido clásicamente identificadas como áreas con una corteza engrosada donde el manto litosférico está también engrosado, por duplicación o bien por subducción, como resultado de un gran periodo de convergencia tectónica. Sin embargo, recientemente se ha propuesto que parte de la elevada topografía en orógenos (como el Atlas, Zagros o la Meseta del Tíbet) es soportada por un considerable déficit de masa bajo la corteza atribuido a un adelgazamiento del manto litosférico. Evidencias de este adelgazamiento resultan de la tomografía sísmica, magnetotélúrica, volcanismo alcalino y del balance isostático calculado a partir de los espesores corticales, elevación y campos potenciales. Estos trabajos muestran la necesidad de replantearse los conceptos previos sobre el comportamiento mecánico y la evolución de la litosfera durante la colisión continental. Por ejemplo, poco se conoce sobre el mecanismo responsable de este adelgazamiento y su expresión en la topografía.

El método basado en la integración de la elevación, gravedad, geoide y datos térmicos ha sido extensamente aplicado en diferentes áreas del planeta para el cálculo de la estructura cortical y litosférica (e.g. Zeyen y Fernández, 1994; Zeyen et al., 2005; Teixell et al., 2005; Jiménez-Munt et al., 2008). La combinación de estos datos proporciona información en la distribución de la densidad y temperatura a diferentes profundidades. En estos modelos la densidad del manto litosférico es dependiente de la temperatura y para la astenosfera se asume un valor constante. Estudios recientes basados en pretofísica y geoquímica muestran que la astenosfera acomoda considerables variaciones laterales de densidad (Afonso et al., 2008), lo que afectaría a los cálculos de equilibrio isostático, la profundidad del nivel de compensación y la formulación de los modelos numéricos previos.

El cinturón Alpino-Himalaya se extiende desde el sudeste asiático hasta la Península Ibérica y es el resultado de la colisión continental que ha dominado el límite entre la placa Euroasiática y las placas Africana, Arábica e Índica durante los últimos 60 m.a. En dicho cinturón, se encuentran tres cadenas anómalas, donde se ha propuesto un manto litosférico adelgazado: las montañas del Atlas y del Zagros y la Meseta del Tíbet. Las tres presentan una historia muy diferente, mientras que Zagros y Tíbet es el resultado de una colisión continental, el Atlas es una cadena por inversión intraplaca.

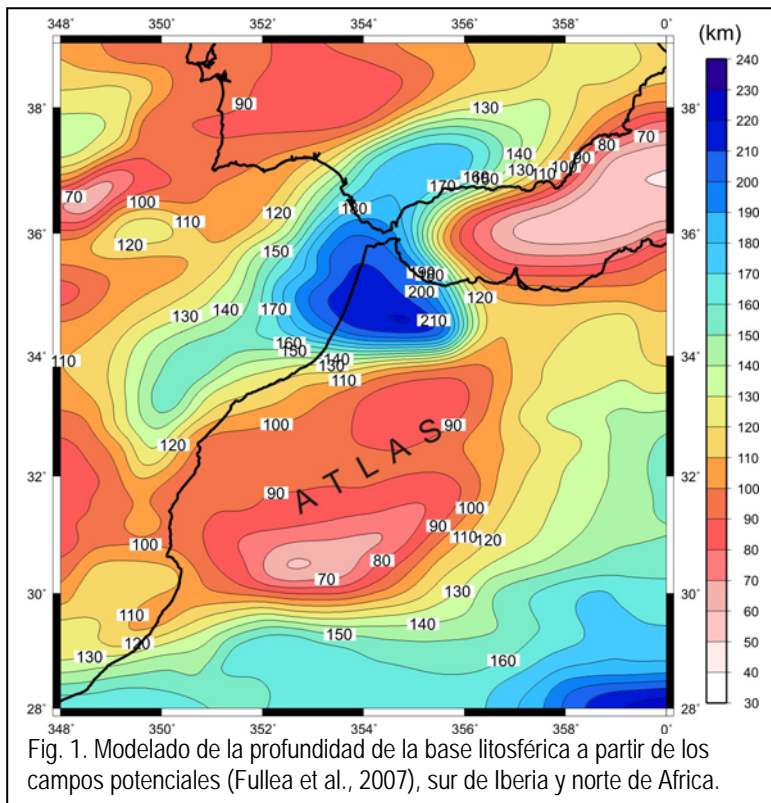


Fig. 1. Modelado de la profundidad de la base litosférica a partir de los campos potenciales (Fullea et al., 2007), sur de Iberia y norte de África.

La cadena del Atlas (Fig. 1) es un orógeno alpino intraplaca caracterizado por un acortamiento tectónico muy moderado (< 30 km en 40 m.y.) (Arboleya et al., 2004). El reducido engrosamiento cortical no es capaz de explicar la topografía observada. Esto ha hecho que se propusiese un considerable adelgazamiento litosférico debajo de la cadena (Teixell et al., 2005; Fullea et al., 2007). Este resultado está basado con la interpretación de campos potenciales y la presencia de volcanismo alcalino de edad Cenozoica. La ausencia de un dominio oceánico previo al acortamiento excluye la subducción y una posible rotura de la placa subducente (slab break off).

La cadena del Zagros (Fig. 2), con más de 2000 kilómetros de longitud y una elevación máxima de 4500 m, se formó por la colisión entre las placas de Arabia e Irán durante el Cenozoico. Está formada por diferentes unidades estructurales que fueron colisionando durante el cierre del dominio oceánico del Neo-Tethys. Se ha propuesto para la estructura litosférica actual un adelgazamiento del manto superior, posiblemente ocurrido hace uno cinco millones de años. Esta interpretación resulta de integrar conjuntamente la elevación, el geoide, la gravedad, y los datos térmicos (Molinaro et al., 2005). Este adelgazamiento litosférico pudo ser debido a la rotura en profundidad de la placa oceánica Neo-Tethys.

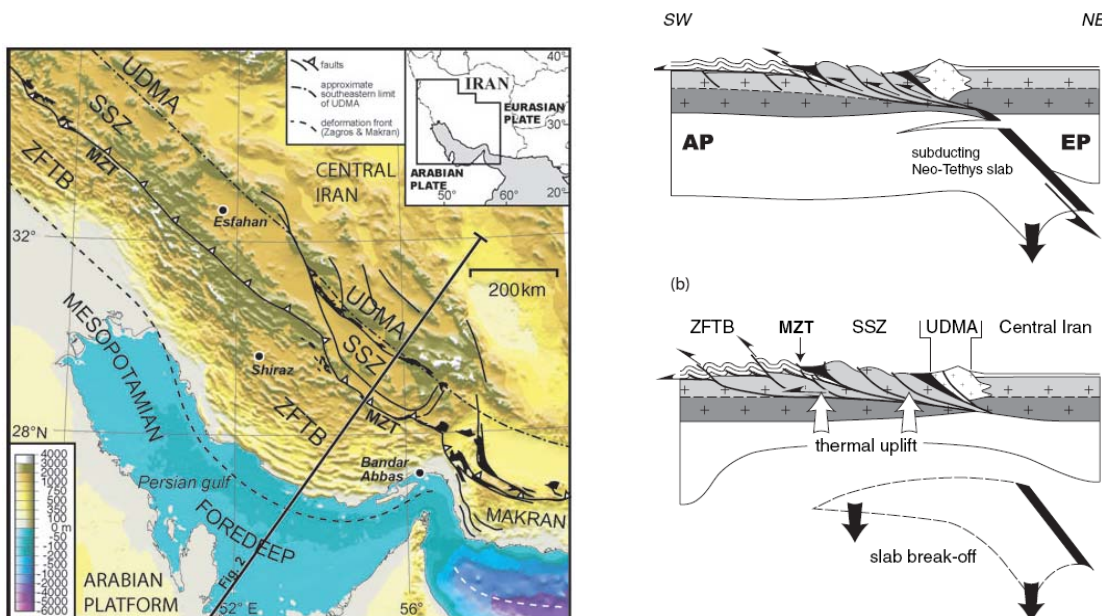


Fig.2. Topografía y principales estructuras de la zona del Zagros. Modelo conceptual de la deformación reciente en las montañas del Zagros, y su relación con un slab break-off litosférico (según Molinaro et al. (2005)).

La Meseta del Tíbet es el resultado de la indentación de la placa India más rígida dentro del margen sur de Asia, con una convergencia muy elevada acomodada en el orógeno del Tíbet-Himalaya (1400 km de acortamiento tectónico en 50 m.y.). Diferentes hipótesis han sido propuestas para la evolución tectónica del Tíbet, como acortamiento y engrosamiento cortical por cizalla pura, delaminación o eliminación convectiva de un manto litosférico tectónicamente engrosado, extrusión de bloques por las fallas principales de dirección, y cabalgamiento del manto litosférico Indio debajo de Asia (e.g. (Molnar et al.,1993; Tapponnier et al., 2001; Jiménez-Munt and Platt, 2006). Un estudio reciente concluye que una litosfera delgada y caliente debajo del NE de la meseta es necesaria para explicar la elevada topografía, gravedad, geoides y elevadas temperaturas corticales (Jiménez-Munt et al., 2008).

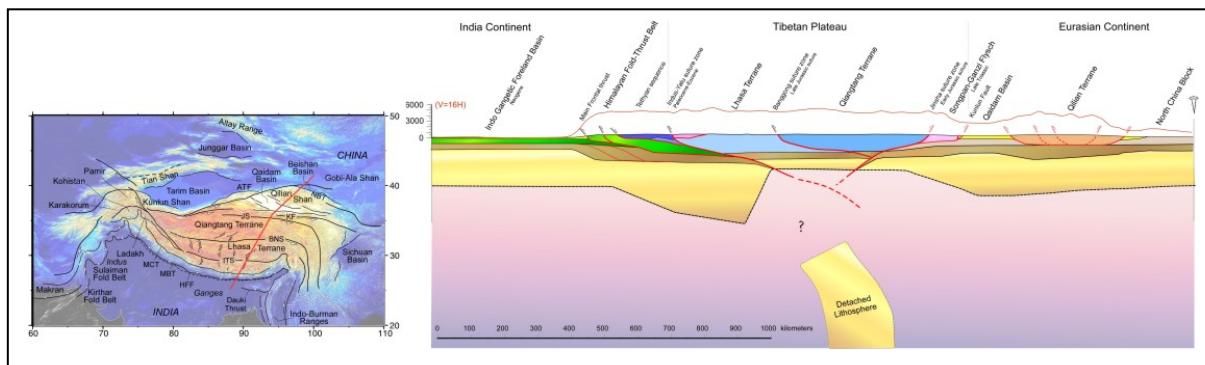


Fig.3. Topografía y principales estructuras de la Meseta del Tíbet. Estructura litosférica a lo largo del perfil que cruza en NE de la meseta (línea roja) resultante del ajuste de la topografía y los campos potenciales (Jiménez-Munt et al., 2008).

Esta tabla resume las principales diferencias y parecidos entre los tres orógenos:

| | Tipo de convergencia | velocidad de convergencia | espesor cortical | sismicidad | volcanismo | mecanismos propuestos |
|--------|----------------------|---------------------------|------------------|------------|--------------|-----------------------------------|
| Atlas | intraplaca | pequeña | moderado | baja | en la cadena | mantle-plume |
| Zagros | colisión oblicua | moderada | moderado | alta | en la meseta | slab-break off |
| Tíbet | colisión | elevada | grueso | alta | en la meseta | convective removal o delaminación |

Hay un intenso debate sobre las cronologías del levantamiento, los mecanismos responsables y la estructura de estos tres orógenos, y en el caso del Tíbet sobre los efectos en el clima global en los últimos millones de años (Molnar et al., 1993).

Las anomalías mantélicas observadas en las tres cadenas han sido también descritas a partir de la tomografía sísmica. Nuestro grupo ha adquirido experiencia en el uso de relaciones cuantitativas entre densidad y velocidad sísmica (V_p , V_s) en función de la presión, temperatura y composición mineralógica. En este proyecto proponemos llevar a cabo una comparación directa entre los resultados de la tomografía y el modelado de campos potenciales usando estas relaciones petrofísicas.

Todos los trabajos realizados hasta ahora en estas cadenas no incluyen los estudios recientes de petrofísica y las posibles variaciones de la densidad en el manto dependiendo de la composición de las rocas. Este proyecto se aprovechará de la experiencia y los datos acumulados en nuestro grupo y colaboradores para poner al día los modelos que concilien las últimas investigaciones en petrología del manto superior con la estructura, cinemática y geodinámica de estos orógenos.

Proyectos relacionados y grupos de trabajo afines

Esta propuesta está relacionada con la presentada por el investigador principal para optar a su actual posición Ramón y Cajal, aprobada por la ANEP y el Ministerio de Educación y Ciencia en 2003.

La propuesta del presente proyecto es el resultado natural de las investigaciones llevadas a cabo por el grupo solicitante durante los últimos años, beneficiándose de su experiencia y datos recopilados y, por tanto, entraña una estrecha relación con diversos proyectos en fase de ejecución:

En 2006 fue concedido el proyecto TopoAtlas (MCyT-DGI-CGL2006-05493/BTE) liderado por D. García-Castellanos, con la colaboración de todo el equipo solicitante, para estudiar mediante modelado numérico la evolución topográfica del Atlas y, en particular, la interacción entre procesos geodinámicos profundos (deformación tectónica, procesos geodinámicos en el manto) y superficiales (evolución de las redes fluviales, relieve topográfico, transporte superficial de sedimento). Este proyecto se está llevando a cabo en estrecha colaboración con M. L. Arboleya, A. Teixell y J. Babault de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Recientemente se ha aprobado la acción complementaria SISAT (CGL2008-01124-E/BTE, 2009-2010) liderada por I. Jiménez-Munt para instalar 4 estaciones sísmicas de banda ancha (cedidas por el Prof. David Eaton de la Universidad de Calgary de Canadá,) a lo largo de la cadena del Atlas. El objetivo es estimar la profundidad de la discontinuidad corteza-manto y del límite litosfera-astenosfera utilizando métodos sísmicos y evaluar la variación de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en la corteza y manto litosférico a lo largo de la cadena.

El proyecto Topo-Iberia, concedido en el 2006 dentro de la convocatoria Consolider-Ingenio 2010 (MCyT-DGI, CSD2006-00041) está liderado por J. Gallart (del mismo departamento del grupo solicitante). Participamos todos los solicitantes de esta propuesta y más de 100 investigadores de 10 instituciones españolas, para desarrollar de manera integrada estudios geocientíficos multidisciplinares sobre la topografía y evolución 4-D de la Península Ibérica y sus márgenes.

Proyecto TopoMed "La tectónica del Arco de Gibraltar y la cordillera del Atlas: Causas litosféricas y efectos topográficos" (MCINN-DGI (CGL2008-03474-E/BTE)) enfocado al estudio del Sistema Arco de Gibraltar y de las Montañas de Marruecos y el Atlas, y del que M. Fernández es coordinador y todos los solicitantes de esta propuesta participantes. Este proyecto aúna 9 equipos de investigación españoles y se inscribe en la iniciativa Eurocore TopoEurope, auspiciada por la European Science Foundation de la que participan 7 países europeos.

En los últimos 4 años I. Jiménez-Munt, en colaboración con M. Fernández y J. Vergés, ha dedicado parte de su labor investigadora al estudio de la colisión India-Asia con el objetivo de determinar la estructura actual y los posibles procesos geodinámicos que han llevado al estado presente de la Meseta del Tíbet (Jiménez-Munt and Platt, 2006; Jiménez-Munt et al., 2008).

El grupo solicitante ha trabajado en la cadena del Zagros durante los últimos siete años en proyectos de investigación financiados por la compañía de petróleo StatoilHydro y liderados por J. Vergés. Estos trabajos han permitido conocer mejor la estructura y la estratigrafía de grandes regiones del noroeste del Zagros así como su estructura cortical. Uno de los resultados más importantes, sin embargo, ha sido la datación absoluta de los sistemas de pliegues y de su secuencia de propagación (Homke et al., 2004).

El grupo solicitante está involucrado en el proyecto DARIUS (2009-2011), consorcio formado y financiado por un grupo de compañías de petróleo (ENI, Petronas, SHELL, TOTAL), para realizar proyectos de investigación de geología y geofísica a gran escala en la región del antiguo imperio persa

del rey Darío. Esta región comprende Eurasia meridional en el oriente medio y Asia Central al noroeste de la cadena del Tien Shan.

Este proyecto se llevará a término en estrecha colaboración con el que proponen en esta misma convocatoria un grupo de la Universidad Complutense de Madrid liderado por la Dr. Ana Negro. Dicho proyecto lleva por título "Desarrollo de nuevas metodologías y aplicaciones de la modelización de la dinámica litosférica: localización de la deformación y evolución 3D". Ambos proyectos han sido presentados por separado debido a la imposibilidad de coordinar proyectos de tipo A y B en esta convocatoria; sin embargo, se complementan y se beneficiarán mutuamente de sus resultados respectivos.

Referencias

Afonso, J. C., M. Fernández, G. Ranalli, W. L. Griffin, and J. A. D. Connolly, Integrated geophysical-petrological modeling of the lithosphere and sublithospheric upper mantle: Methodology and applications, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q05008, doi:10.1029/2007GC001834, 2008.

Arbolea, M.L., A. Teixell, M. Charroud y M. Julivert, A structural transect through the High and Middle Atlas of Morocco, *Jour. of African Earth Sci.*, 39, 319-327, 2004.

Fullea J., M. Fernández, H. Zeyen, J. Vergés, 2007, A rapid method to map the crustal and lithospheric thickness using elevation, geoid anomaly and thermal analysis. Application to the Gibraltar Arc System, Atlas Mountains and adjacent zones, *Tectonophysics*, 430, 97-117.

Fullea J., Development of numerical methods to determine the lithospheric structure combining geopotential, lithostatic and heat transport equations. Application to the Gibraltar arc system, PhD Tesis, 2008

Homke S., J. Vergés, M. Garcés, H. Emami, and R. Karpuz, Magnetostratigraphy of Miocene-Pliocene continental foreland deposits of the front of the Push-e Kush Arc (Lurestan Province, Iran), *Earth. Planet. Sci. Lett.*, v. 225, pp.397-410, 2004.

Jiménez-Munt I., J.P. Platt , 2006, Influence of mantle dynamics on the topographic evolution of the Tibetan Plateau: Results from numerical modelling, *Tectonics*, 25, TC6002, doi:10.1029/2006TC001963.

Jiménez-Munt I., M. Fernández, J. Vergés and J.P. Platt, 2008, Lithosphere structure underneath the Tibetan Plateau inferred from elevation, gravity and geoid anomalies, *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 267, 276-289.

Molinero M., H. Zeyen, X. Launein, 2005, Lithospheric structure beneath the south-eastern Zagros Mountains, Iran: recent slab break-off?, *Terra Nova*, 17, 1–6, doi: 10.1111/j.1365-3121.2004.00575.x

Molnar, P., England, P., Martinod, J., 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau and the Indian monsoon. *Rev. Geophys*, 31, 357–396.

Tapponnier, P., Zhiqin, X., Roger, F., Meyer, B., Arnaud, N., Wittlinger, G., Jingsui, Y., 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibetan Plateau, *Science*, 294, 1671–1677.

Teixell, A., P. Ayarza, H. Zeyen, M. Fernandez & M.L. Arbolea, Effects of mantle upwelling in a compressional setting: the Atlas Mountains of Morocco. *Terra Nova*, 17, 456–461, 2005. doi: 10.1111/j.1365-3121.2005.00633.

Zeyen H., M. Fernández, Integrated lithospheric modeling combining thermal, gravity, and local isostasy analysis: application to the NE Spanish Geotranssect, 1994, *J. Geophys. Res.*, 99, 18089–18102.

Zeyen H., P. Ayarza, M. Fernández, A. Rimi, Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: a transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz, 2005, *Tectonics*, 24, TC2001, doi:10.1029/2004TC001639.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

(máximo 2 páginas)

3.1. Describir brevemente las razones por las cuales se considera pertinente plantear esta investigación y, en su caso, la **hipótesis de partida** en la que se sustentan los objetivos del proyecto (máximo 20 líneas)

Los estudios recientes sobre el Atlas, Zagros y Tíbet proponen la presencia de un adelgazamiento litosférico que abre muchos interrogantes: ¿Cómo influye la petrofísica y geoquímica del manto en los cálculos de la variación del espesor litosférico? ¿Cómo varía la densidad mantélica y en consecuencia la base de la litosfera en función de su composición debajo de estos tres orógenos? ¿Correlacionan los valores de temperatura, densidad y composición con la tomografía sísmica? ¿Qué papel juegan la isostasia regional y la topografía dinámica? ¿Cuáles son los procesos geodinámicos responsables de las anomalías mantélicas observadas?

En este contexto, consideramos pertinente plantear un método que incluya una modelización numérica que considere los métodos más novedosos de cálculo de la temperatura y densidad (según la petrología) con los observables de los campos potenciales y los resultados de tomografía sísmica. Dicha modelización interrelacionará cuantitativamente las características del manto con la topografía observada para dar respuesta a los interrogantes planteados.

Hipótesis de partida: 1) la elevada topografía de estos orógenos tiene parcialmente un origen mantélico; 2) las variaciones de densidad considerando los recientes estudios petrológicos son relevantes a la hora de determinar las características mantélicas; 3) la isostasia regional juega un papel importante en la elevación de dichos orógenos; 4) el uso de estas nuevas técnicas de modelización permitirán acotar mejor la actual estructura y así establecer los procesos litosféricos responsables de ésta.

3.2. Indicar los **antecedentes** y **resultados** previos, del equipo solicitante o de otros, que avalan la validez de la hipótesis de partida

Numerosos equipos se han dedicado a la investigación sobre los efectos de los procesos profundos en la topografía actual. En particular, ha sido descrito, en base a los resultados obtenidos de la modelización integrada de datos de elevación, gravimetría, geoide y térmicos, el origen mantélico de la topografía actual del Atlas (Zeyen et al., 2005; Teixell et al., 2005), de la cadena del Zagros y centro de Iran (Molinero et al., 2005) y el NE de la Meseta del Tíbet (Jiménez-Munt et al., 2008). Algunos de estos resultados han sido extendidos en una simulación 3D (Fullea, 2008).

Estudios recientes basados en petrofísica y geoquímica muestran que las diferencias en la composición del manto resultan en considerables variaciones laterales de la densidad a niveles astenosféricos (Afonso et al., 2008). Estos resultados muestran que para el cálculo de la gravedad es necesario un estudio detallado de la relación entre la composición mineralógica y densidades mantélicas.

3.3. Enumerar brevemente, pero con claridad, precisión y de manera realista (es decir, acorde con la duración prevista del proyecto) los **objetivos concretos** que se persiguen. La novedad y relevancia de los objetivos (así como la precisión en la definición de los mismos) se mencionan explícitamente en los criterios de evaluación de las solicitudes

Estudiar tres escenarios geológicos anómalos situados a lo largo de la cadena Alpino-Himalaya para determinar los mecanismos de compensación isostática, la distribución de la densidad del manto y los posibles procesos geodinámicos que controlan el adelgazamiento mantélico y la topografía dinámica de la Meseta del Tíbet, las montañas del Atlas y del Zagros.

Los principales objetivos de este proyecto serán, para cada una de las cadenas:

1. Estimar la cantidad de adelgazamiento del manto litosférico haciendo una revisión crítica de los modelos de variaciones de densidad debidos a cambios de condiciones de presión y temperatura, cambios de fase y composición mineralógica, estudiando su influencia en los movimientos verticales y en los cálculos de gravedad y geoide.
2. Determinación de relaciones matemáticas y físicas que pueden correlacionar las anomalías de las velocidades de la onda sísmica y temperatura con las anomalías de composición.
3. Valoración del equilibrio isostático, la distribución de masa a diferentes niveles litosférico y sub-litosférico y la creación de relieve.
4. Estimación de la topografía dinámica debida a los niveles sub-litosféricos.
5. Evaluación de los diferentes procesos geodinámicos causantes del estado actual del Atlas, Tíbet y Zagros.

4. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO (en el caso de proyectos coordinados deberá abarcar a todos los subproyectos)

Se deben **detallar y justificar con precisión la metodología y el plan de trabajo** que se proponen y debe exponerse la planificación temporal de las actividades, incluyendo cronograma (se adjunta un posible modelo).

- El plan de trabajo debe desglosarse en actividades o tareas, fijando los hitos que se prevé alcanzar en cada una de ellas. En los proyectos que empleen el Hespérides o se desarrollen en la zona antártica, deberán también incluir el plan de campaña en su correspondiente impreso normalizado.
- En cada una de las tareas, deben indicarse el centro ejecutor y las personas (ver apartados 2.1, 2.2 y 2.3 del formulario de solicitud) involucradas en la misma. Si en el proyecto participan investigadores de otras entidades no relacionados en el apartado 2.3 del formulario de solicitud, deberán exponerse los méritos científicos que avalan su participación en el proyecto.
- Si solicita ayuda para personal contratado, justifique claramente su necesidad y las tareas que vaya a desarrollar. Recuerde que sólo podrá solicitar costes de personal en régimen de contratación, **no se podrán asignar becarios con cargo al capítulo de personal** del proyecto.

La adecuación de la metodología, diseño de la investigación y plan de trabajo en relación con los objetivos del proyecto se mencionan explícitamente en los criterios de evaluación de las solicitudes.

Metodología

Aplicar en las cadenas del Atlas, Zagros y Tíbet, los modelos numéricos desarrollados dentro del grupo, de cálculo de la estructura litosférica integrando los campos potenciales, la temperatura y la petrofísica.

Desarrollo y aplicación de experimentos numéricos que permitan un mayor conocimiento de las propiedades litosféricas y mantélicas, cuantificando las anomalías debajo de los tres orógenos seleccionados, y establecer estudios predictivos de evolución.

Dichos experimentos comprenden:

- a) Ampliación de software ya existente que resuelve, de forma acoplada, las ecuaciones de campos potenciales (gravimetría y geoide), litostática (elevación), térmica (flujo de calor y distribución de temperaturas) y la petrofísica (variaciones de la densidad del manto con la composición, temperatura y presión).
- b) Desarrollo de nuevas aplicaciones con el fin de comparar y unificar las interpretaciones de estructura profunda (corteza, manto litosférico y sublitosférico) obtenida a partir de la resolución simultánea de las ecuaciones potenciales, equilibrio isostático y régimen térmico con modelos tomográficos derivados de la propagación de ondas sísmicas.
- c) Implementación y aplicación de modelos petrofísicos ya existentes para establecer la variabilidad de la densidad y de la velocidad de propagación (V_p , V_s) en función de la presión, temperatura y composición mineralógica. Esta metodología, que se ha estado desarrollando los últimos años dentro del grupo, está siendo aplicada con éxito en diversos centros punteros para el estudio de la litosfera oceánica y zonas cratónicas continentales.
- d) Implementar a los modelos numéricos existentes el cómputo de la topografía dinámica, así como el de la isostasia regional, pudiendo evaluar el porcentaje de topografía que es soportada regionalmente (por flexión).
- e) Comparación de las características mantélicas debajo de los tres orógenos, Atlas, Tíbet y Zagros. Establecer, para cada uno de los casos, modelos evolutivos responsables del presente escenario.

Plan de trabajo

Tiene especificada la duración, la persona responsable y otras involucradas de cada apartado en el cronograma adjunto.

- 1) Revisión e implementación de los modelos numéricos existentes.
 - Cálculos de la topografía dinámica.
 - Cálculo de la isostasia regional, reología y resistencia litosférica.
- 2) Recopilación de datos en el Atlas, Tíbet y Zagros.

- Realizar mapas marcando las estructuras geológicas y las diferentes características en profundidad para las tres zonas de estudio.
- Localización de los perfiles litosféricos a modelizar. Considerar dos perfiles litosféricos perpendiculares a cada uno de las tres cadenas, incluyendo todos los datos disponibles. Su situación dependerá de la cantidad de datos existentes a lo largo de cada cadena orogénica.
- El reconocimiento in-situ de los datos geológicos de algunos tramos utilizados para las transectas a modelizar que se llevará a cabo en tres campañas. Ambas servirán para establecer contacto y fomentar la discusión y el cotejo de resultados con otros geólogos expertos en la región. Estos tramos implican la zona Alta del Atlas, la zona interna del Zagros y la cuenca del Tarim y la cadena del Tien Shan.
- Los datos relativos a los espesores de los rellenos sedimentarios y corticales se obtendrá principalmente partir de los cortes geológicos y los experimentos sísmicos.
- Las densidades a distintas profundidades, sedimentarias y corticales, se determinaran principalmente a partir de las velocidades de las ondas P.
- Compilación de datos relativos a las propiedades y composición de las rocas mantélicas.

3) Aplicación de los modelos numéricos a las tres regiones de estudio.

- Determinar la estructura litosférica con la aplicación del modelo numérico 2D que resuelve, de forma acoplada, las ecuaciones de campos potenciales (gravimetría y geoide), isostasia regional (elevación), térmica (flujo de calor y distribución de temperaturas) y petrofísica (densidad función de la temperatura y la composición).
- Correlacionar las anomalías de composición y velocidades de las ondas sísmicas predichas con el modelo numérico, con las velocidades sísmicas resultantes de la tomografía. Esto se llevará a cabo en colaboración con A. Villaseñor, investigador del mismo departamento experto en tomografía sísmica, que todo y no formar parte del proyecto en la actualidad se esta colaborando.
- Los resultados obtenidos de los cortes litosféricos (2D), servirán como entrada para un modelo de gran escala 3D. Ajustar la estructura a los observables y analizar las variaciones laterales de las características litosféricas.

4) Interpretación de los resultados. En especial la realización de este apartado será en colaboración con el grupo de la Universidad Complutense de Madrid (UCM)

- Estudio comparativo entre las tres áreas de estudio.
- Estimación de la topografía dinámica debida a los niveles sub-litosféricos. Cálculo reológico, variaciones de la resistencia litosférica.
- Interpretación geodinámica de los resultados. Evaluación de los diferentes procesos geodinámicos.
- Publicación de los resultados en revistas nacionales e internacionales y difusión en conferencias y simposiums.

4.1 MODELO DE CRONOGRAMA (ORIENTATIVO)

En este cronograma debe figurar la totalidad del personal investigador incluido en el formulario de solicitud y, en su caso, el personal contratado que se solicite con cargo al proyecto. Debe subrayarse el nombre de la persona responsable, en cada tarea.

IJM: Ivone Jiménez-Munt, MF: Manel Fernández, JV: Jaume Vergés, DGC: Daniel García-Castellanos, ES: Eduard Saura, JCA: Juan Carlos Afonso.

| Actividades/Tareas | | Centro ejecutor | Persona responsable y otras involucradas | Primer año (*) | Segundo año (*) | Tercer año (*) |
|--|--|-----------------|--|-----------------|---------------------|---------------------|
| 1) Revisión e implementación de los modelos existentes | cálculo de la topografía dinámica | ICTJA | <u>IJM</u> , MF, DGC | X X X | | |
| | cálculo de la isostasia regional, reología y resistencia litosférica | ICTJA | <u>DGC</u> , IJM, MF | X X X X | | |
| 2) Recopilación de datos | Realizar mapas | ICTJA | <u>JV</u> , ES | X X X X | X X X X | |
| | Localización de los perfiles a modelizar | ICTJA | Todo el equipo | X X | | |
| | Campañas de campo | ICTJA | <u>JV</u> , ES, IJM | X X | X | |
| | Estructura sedimentaria y cortical | ICTJA | <u>ES</u> , JV, IJM | X X X X | X X X X X | |
| | Densidades y composición mantélica | ICTJA | <u>MF</u> , <u>JCA</u> , IJM | X X X X | X X X X X | X |
| 3) Aplicación de los modelos numéricos | Estructura litosférica 2-D | ICTJA | <u>IJM</u> , JCA, MF, DGC | X X X X X X X X | X X X X X X X X X X | |
| | correlacionar anomalías de composición con anomalías de velocidades sísmicas | ICTJA | <u>JCA</u> , IJM, DGC, + A. Villaseñor | X X X X | X X X X X X X X X X | X X X X X X X |
| | Estructura litosférica 3-D | ICTJA | <u>IJM</u> , DGC, MF | | X X X X X X | X X X X X X X X X X |
| 4) Interpretación de los resultados | Estudio comparativo | ICTJA UCM | Todo el equipo + UCM | X | X X X X X X X | X X X X X X X |
| | topografía dinámica, reología y resistencia litosférica | ICTJA | <u>IJM</u> , DGC, MF | | X X X X X X | X X X X X X |
| | Interpretación geodinámica | ICTJA UCM | Todo el equipo + UCM | | X X X X X X X X | X X X X X X X X X X |
| | Publicación de los resultados | ICTJA | Todo el equipo | | X X X X | X X X X X X |

(*) Colocar una X en el número de casillas (meses) que corresponda

5. BENEFICIOS DEL PROYECTO, DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN, EN SU CASO, DE LOS RESULTADOS

(máximo 1 página)

Deben destacarse, entre otros, los siguientes aspectos:

- Contribuciones científico-técnicas esperables del proyecto, beneficios esperables para el avance del conocimiento y de la tecnología y, en su caso, resultados esperables con posibilidad de transferencia ya sea a corto, medio o largo plazo.
 - Plan de difusión y, en su caso, de explotación, de los resultados del proyecto, que se valorará en el proceso de evaluación de la propuesta y en el de seguimiento del proyecto.
-

Se espera que las contribuciones científicas del proyecto, destaquen en ámbitos de interés internacional y que los conocimientos científicos generados sean competitivos; también que contribuya con avances metodológicos en el tratamiento de datos y su modelización.

Propiciará el desarrollo de técnicas de interpretación cuantitativas basadas en su multidisciplinariedad. Así, permitirán cuantificar las anomalías de densidades en los tres escenarios geológicos situados a lo largo de la cadena Alpino-Himalaya, y correlacionarlas con otros observables como la tomografía sísmica. Estos resultados permitirán validar los modelos geodinámicos propuestos para los diferentes contextos.

Este proyecto cuenta con el apoyo de la compañía de petróleo StatoilHydro Petroleum AS de Noruega, de los que incluimos su carta de apoyo. Al tratarse de una empresa extranjera, al generar la solicitud hemos tenido que incluir un CIF ficticio para que la aplicación la acepte. El número de registro de esta compañía es el "NO 990 888 213 MVA". Este tipo de compañías tienen un gran interés en los trabajos que se proponen en este proyecto, en particular, StatoilHydro está interesada en el régimen térmico y composición debajo de estas cadenas y especialmente su asociación con las cuencas sedimentarias y evolución.

El proyecto permitirá la formación de un estudiante de doctorado en técnicas punteras de modelización numérica, en la resolución simultánea de las ecuaciones de campos potenciales, isostasia, régimen térmico y petrofísica, así como el contrastar datos multidisciplinarios. La formación de un doctorando es fundamental para dar continuidad en España a las técnicas de modelado numérico de procesos litosféricos. Estas técnicas fueron iniciadas por miembros del equipo durante estancias en centros extranjeros y se han desarrollado posteriormente en nuestro grupo. En el apartado 7 de dicha memoria se detalla la formación del doctorando.

Debido al interés suscitado en la última década en torno a los procesos a nivel del manto y su resultado en la topografía, tenemos el convencimiento de que los resultados de este proyecto serán relevantes no sólo a nivel de la geología de la región de estudio y de España sino también cara a su publicación en revistas de impacto a nivel internacional. Siguiendo el historial de publicaciones del equipo solicitante, se enviarán artículos a revistas de elevado impacto internacional entre las que cabe destacar *Tectonics*, *Earth & Planetary Science Letters*, *Journal of Geophysical Research*.

Se presentarán los resultados en congresos y reuniones científicas. En los congresos más importantes de Geociencias la *European Geosciences Union-EGU* (Marzo-Abril, anual) y *American Geophysical Union-AGU Fall meeting* (Diciembre, anual), así como el Congreso Geológico de España y en los congresos especializados más adecuados que se convoquen en los próximos años.

Continuar en los circuitos científicos internacionales interesados en el tema, y debatir nuestros resultados en foros como el Programa TOPOEUROPE.

Los resultados serán también publicados en la página de internet del investigador principal (<http://www.ija.csic.es/gt/ivone/>) y en la del grupo (<http://www.ija.csic.es/gt/gdl/>).

6. HISTORIAL DEL EQUIPO SOLICITANTE EN EL TEMA PROPUESTO

(en caso de ser un Proyecto Coordinado, los apartados 6. y 6.1. deberán rellenarse por cada uno de los equipos participantes) (máximo 2 páginas)

Indicar las actividades previas del equipo y los logros alcanzados en el tema propuesto:

- Si el proyecto es continuación de otro previamente financiado, deben indicarse con claridad los objetivos ya logrados y los resultados alcanzados.
- Si el proyecto aborda un nuevo tema, deben indicarse los antecedentes y contribuciones previas relacionadas del equipo con el fin de justificar su capacidad para llevar a cabo el nuevo proyecto.

Este apartado, junto con el 3, tiene como finalidad determinar la adecuación y capacidad del equipo en el tema y, en consecuencia, la viabilidad de la actividad propuesta.

El equipo solicitante ha participado directamente en el desarrollo de los modelos numéricos que se aplicarán en este proyecto (Fullea et al., 2007; Afonso et al., 2008). El equipo dispone de la experiencia en el acoplamiento de distintos programas informáticos, que se propone en este proyecto (e.g., Jiménez-Munt et al., 2005).

El equipo investigador solicitante forma parte de un grupo consolidado en el estudio de la estructura y procesos de deformación litosférica, régimen térmico y movimientos verticales aplicados a márgenes continentales. Dicho grupo es reconocido, desde hace 10 años por la Generalitat de Catalunya, como Grupo de Excelencia en el sistema I+D de Cataluña. La experiencia en el estudio de la relación entre estructura litosférica y procesos geodinámicos viene avalada por la ejecución de diversos proyectos de investigación, los fondos de los cuales han sido obtenidos en marcos competitivos (CICYT, DGICYT, UE-Human Capital and Mobility, EUROCORES-ESF) y por convenios-contratos con la industria (NORSK-HYDRO, REPSOL-YPF, ELF, IFP, ENRESA) y otros organismos públicos de investigación (ITGE).

En cuanto a la trayectoria del grupo en el estudio del Arco de Gibraltar y del margen Sur de la Península Ibérica, ésta incluye la participación activa en diversos proyectos de investigación desde el año 1992 hasta el presente. A destacar los siguientes proyectos, llevados a cabo por investigadores del grupo solicitante, donde los resultados más relevantes hacen referencia al establecimiento de la estructura cortical y litosférica, condiciones cinemáticas y dinámicas aplicables al límite de placas, y modelado dinámico de procesos de delaminación. Recientemente se han iniciado estudios acerca de la composición química del manto litosférico y las variaciones de densidad y velocidad de propagación de ondas sísmicas y su repercusión en la topografía dinámica.

- 1993-1995: Integrated Basin Studies in the Guadalquivir Foreland Basin (UE- JOU2-CT92-110). Caracterización geofísica global del margen Sur de la Península Ibérica; comportamiento termo-mecánico de la litosfera. P.I.: M. Fernández. Con participación de D. García-Castellanos.
- 1995-1998: 'Geodynamic Modelling of the Western Mediterranean' (UE-CHRX-CT94-0607). Desarrollo de modelos numéricos de deformación litosférica y su aplicación a la Cuenca de Alborán y Surco de Valencia. P.I.: M. Fernández. Con participación de D. García-Castellanos e I. Jiménez-Munt.
- 1995-1998: 'Estructura y evolución geodinámica de la litosfera en el límite oriental de la zona Azores-Gibraltar: Banco de Goringe-Golfo de Cádiz' (DGYCIT-PB94-0013). Estructura cortical y litosférica del margen SW de Iberia y de la cuenca de Alborán. Cinemática y dinámica del límite de placas entre Azores y Gibraltar. P.I.: M. Torne. Con colaboración de M. Fernández, D. García-Castellanos e I. Jiménez-Munt.
- 1998-2001: 'El margen Atlántico de Iberia: Estructura y evolución' (CICYT-MAR98-0962). Estructura y evolución tectónica-sedimentaria en el Golfo de Cádiz. Distribución regional de esfuerzos y deformación actual. P.I.: J.J. Dañobeitia. Con colaboración de M. Fernández, I. Jiménez-Munt y J. Vergés.
- 2001-2004: 'Estudios geológicos y geofísicos integrados en márgenes y cuencas sedimentarias del sur de Iberia: relaciones entre estructura litosférica y movimientos verticales' MCyT-DGI (REN2001-3868-C03-02/MAR). Estructura cortical y litosférica de la zona del límite de placas entre Iberia y Africa. P.I.: M. Fernández. Con colaboración de J. Vergés.
- 2002-2003: The Iberian-African plate boundary: lithospheric structure and geodynamic evolution. (NATO-EST.CLG.978922). Estudio de la estructura cortical y litosférica de los márgenes sud-Ibérico y nord-Africano y comportamiento dinámico del límite de placas. P.I.: M. Fernández. Con participación de D. García-Castellanos, I. Jiménez-Munt y J. Vergés.

- 2002-2004: Proyecto del Plan Nacional de I+D: Modelización numérica termomecánica de procesos de creación y destrucción de orógenos: aplicación a los Alpes y a la cordillera Bético-Rifeña. P.I.: Ana Negro. Con participación de D. García-Castellanos e I. Jiménez-Munt.
- 2003-2006: 'Estructura cortical y litosférica, movimientos verticales y dinámica sedimentaria en el margen septentrional del Mediterráneo Occidental' (MCyT-DGI-REN2002-11230-E-MAR). P.I. : M. Fernández. Con colaboración de D. García-Castellanos, I. Jimenez-Munt y J. Verges. Este proyecto forma parte del proyecto 'Imaging the Western Mediterranean Margins: A key target to understand the interaction between deep and shallow processes'. 01-LEC-EMA22F, ESF Eurocores -EUROMARGINS. Coordinador: M. Fernández.
- 2005-2008: 'El sistema del Arco de Gibraltar: procesos geodinámicos activos de los márgenes sud-ibéricos' (MCyT-DGI-CTM2005-08071-C03-03/MAR). P.I.: M. Fernández. Con colaboración de I. Jiménez-Munt y J. Verges.
- 2006-2011: 'Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D. Topo-Iberia' (Consolider-Ingenio 2010. MCyT-DGI, CSD2006-00041). P.I.: J. Gallart. Con colaboración de todo el equipo solicitante.

En particular, tres proyectos han sido financiados para el estudio de la cordillera del Atlas. Con la acción complementaria se financiará la instalación a lo largo del Atlas de 4 estaciones, cedidas por Prof. David Eaton de la Universidad de Calgary de Canadá.

- 2006-2009: 'Modelado numérico de la evolución tectónica y topográfica de la cordillera del Atlas en Marruecos. TopoAtlas' (MCyT-DGI - CGL2006-05493/BTE). P.I.: D. García-Castellanos. Con la colaboración de I. Jiménez-Munt, M. Fernández y J. Vergés.
- 2009-2010: 'Caracterización sísmica de la corteza y manto litosférico del Alto Atlas. SISAT' (CGL2008-01124-E/BTE). P.I.: I. Jiménez-Munt. Con colaboración de D. García-Castellanos.
- 2008-2011: "La tectónica del Arco de Gibraltar y la cordillera del Atlas: Causas litosféricas y efectos topográficos" (MCINN-DGI, CGL2008-03474-E/BTE). P.I: M. Fernández. Con colaboración de todo el equipo solicitante.

Durante la permanencia del IP en la *University College London* en colaboración con John Platt se inició el estudio de la colisión India-Asia con el objetivo de determinar la estructura actual y los posibles procesos geodinámicos que han llevado al estado presente de la Meseta del Tíbet.

- 2003-2005: 'Numerical modelling into thermal and mechanical aspects of crustal and lithospheric deformation' (University College London). P.I.: J. Platt. Con colaboración de I. Jiménez-Munt.

En el Zagros, los últimos 5 años se han llevado a cabo dentro del grupo solicitante estudios estructurales, liderados por J. Vergés y en colaboración con Norsk Hydro, para establecer la evolución tectonoestratigráfica de la zona.

- 2003-2004: 'Fluid flow and diagenesis of reservoir analogs from the Zagros fold and thrust belt. Anaran region' (Norsk Hydro Produksjon).
- 2004: 'Restoration (Balanced and restored sections in Lurestan, Zagros, Iran)' (Norsk Hydro Produksjon).
- 2005-2006: 'Fluid Evolution and Diagenesis of reservoir analogs from the Zagros Fol. And Thrust Belt, Anaran Region' (Norsk Hydro Produksjon).
- 2006-2007: 'Fault and Fracture Heterogeneity In Relation to Folding – Iran' (Norsk Hydro Research Centre).
- 2006-2007: 'A priori geomodels and seismic acquisition – Iran' (Norsk Hydro Research Centre)
- 2007-2008: 'Characterization of the early phase of folding in the Khorramabad region – Iran: Growth patterns, related folding and absolute timing' (Norsk Hydro Research Centre)
- 2008: 'Regional structural analysis of the NW Zagros fold belt in Iraq' (DNO Iraq AS, Oslo)
- 2007-2009: 'Shortening and uplift evolution in NW Zagros' (Hydro Oil and Energy, Norway).

Gran parte de los resultados obtenidos en estos proyectos han sido publicados en revistas internacionales (SCI) totalizando más de 30 artículos científicos, entre los que se destacan los siguientes (sólo se incluyen aquellos en que algún miembro del equipo solicitante es autor/coautor y posteriores al 2000):

- M. Torne, M. Fernández, M.C. Comas and J.I. Soto. Lithospheric structure beneath the Alboran basin: Results from 3D gravity modelling and tectonic relevance. *J. Geophys. Res.*, 105, 3209-3228, 2000.

- I. Jiménez-Munt, P. Bird and M. Fernández. Thin-shell modeling of neotectonics in the Azores-Gibraltar region. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1083-1086, 2001.
- I. Jiménez-Munt, M. Fernández, M. Torné and P. Bird. The transition from linear to diffuse plate boundary in the Azores-Gibraltar region: results from a thin sheet model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 192, 175-189, 2001.
- D. García-Castellanos, M. Fernández and M. Torne. Modeling the evolution of the Guadalquivir foreland basin (southern Spain). *Tectonics*, 21, (3), 10.1029/2001TC001339, 2002.
- García-Castellanos, D., J. Vergés, J.M. Gaspar-Escribano & S. Cloetingh, 2003. Interplay between tectonics, climate and fluvial transport during the Cenozoic evolution of the Ebro Basin (NE Iberia). *J. Geophys. Res.*, 108 (B7), 2347, 10.1029/2002JB002073.
- M. Fernández, I. Marzán and M. Torne. Lithospheric transition from the Variscan Iberian Massif to the Jurassic oceanic crust of the Central Atlantic. *Tectonophysics*, 386, 97-115, 2004.
- Roca, E., D. Frizon de Lamotte, A. Mauffret, R. Bracène, J. Vergés, N. Benaouali, M. Fernández, J. A. Muñoz, and H. Zeyen, 2004, TRANSMED - TRANSECT II: a description of the section and of the data sources: CD of the Mediterranean Consortium for the 32nd International Geological Congress, Springer Verlag.
- Frizon de Lamotte, D., A. Crespo-Blanc, B. Saint-Bézar, M. Comas, M. Fernández, H. Zeyen, P. Ayarza, C. Robert-Charrue, A. Chalouan, M. Zizi, A. Teixell, M. L. Arboleya, F. Álvarez-Lobato, M. Julivert, and A. Michard, 2004, TRANSMED Transect I: Iberian Meseta - Guadalquivir Basin - Betic Cordillera - Alboran Sea - Rif - Moroccan Meseta - High Atlas - Sahara Platform: CD of the Mediterranean Consortium for the 32nd International Geological Congress, Springer Verlag.
- H. Zeyen, P. Ayarza, M. Fernandez and A. Rimi. Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz. *Tectonics*, 24, TC2001, doi:10.1029/2004TC001639, 2005.
- A. Teixell, P. Ayarza, H. Zeyen, M. Fernández and M.L. Arboleya. Effects of mantle upwelling in a compressional setting: the Atlas Mountains of Morocco. *Terra Nova*, 17, 456-461, 2005.
- I. Jiménez-Munt, D. García-Castellanos and M. Fernández. Thin-sheet modelling of lithospheric deformation and surface mass transport. *Tectonophysics*, 407, 239-255, 2005.
- Fullea J., M. Fernández, H. Zeyen, FA2BOUG-a FORTRAN 90 code to compute Bouguer gravity anomalies from gridded free air anomalies: application to the Atlantic-Mediterranean transition zone, *Computer & Geosciences*, 34, 1665-1681, 2008.
- Jiménez-Munt I., J.P. Platt , 2006, Influence of mantle dynamics on the topographic evolution of the Tibetan Plateau: Results from numerical modelling, *Tectonics*, 25, TC6002, doi:10.1029/2006TC001963.
- Jiménez-Munt I., M. Fernández, J. Vergés and J.P. Platt , 2008, Lithosphere structure underneath the Tibetan Plateau inferred from elevation, gravity and geoid anomalies, *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 267, 276-289.
- Vergés, J., 2007, Drainage responses to oblique and lateral thrust ramps: a review, in G. Nichols, C. Paola, and E. Williams, eds., *Sedimentary processes, environments and basins: a tribute to Peter Friend*, v. International Association of Sedimentologists Special Publication, vol. 38. Chapter 3, Blackwell Publishing p. 29-47.
- Homke, S., J. Vergés, M. Garcés, H. Emami, and R. Karpuz, 2004, Magnetostratigraphy of Miocene-Pliocene continental foreland deposits of the front of the Push-e Kush Arc (Lurestan Province, Iran): *Earth and Planetary Science Letters*, 225, 397-410.
- Homke, S., J. Vergés, J. Serra-Kiel, G. Bernaola, M. Garcés, R. Karpuz, I. Sharp, M. H. Goodarzi, and I. M. Verdú (2008), Late Cretaceous-Paleocene formation of the early Zagros foreland basin: biostratigraphy and magnetostratigraphy of the Amiran, Taleh Zang and Kashkan sequence in Lurestan Province, SW Iran, *Geol. Soc. Am. Bull.* (in press).
- Homke, S., J. Vergés, P. Van der Beck, M. Fernández, B. Badics, and E. Labrin, Exhumation history of NW Zagros from bedrock and detrital apatite fission-track analysis: evidences of widespread denudation in middle and late Eocene times, *Basin Research* (in press).
- Emami, H., J. Vergés, T. Nalpas, P. Gillespie, and E. P. Blanc, Structure of the Mountain Front Flexure along the Anaran anticline in the Pusht-e Kuh Arc (NW Zagros, Iran): Insights from sand box models, in *Tectonic and Stratigraphic evolution of Zagros and Makran during the Meso-Cenozoic*, edited by P. Leturmy and C. Robin, Geological Society of London Special Volume (in press).
- Sharp, I., A. Gillespie, D. Morsalnejhad, C. Taberner, R. Karpuz, J. Vergés, A. Horbury, N. Pickard, J. Garland, and D. Hunt, Stratigraphic Architecture and Fracture Controlled Dolomitisation of the Upper Khami and Bangestan Groups (Cretaceous), Zagros Mountains, Iran. An Outcrop Case Study. , in *Reference models of Mesozoic and Cenozoic carbonate systems in Europe and the Middle East – stratigraphy and diagenesis*, edited by F. van Buchem, K. Gerdes and M. Esteban, Geological society of London, Special Publication (in press).

6.1. FINANCIACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA (PROYECTOS Y CONTRATOS DE I+D) DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO INVESTIGADOR

Debe indicarse únicamente lo financiado en los últimos cinco años (2004-2008), ya sea de ámbito autonómico, nacional o internacional.
Deben incluirse también las solicitudes pendientes de resolución.

| Título del proyecto o contrato | Relación con la solicitud que ahora se presenta (1) | Investigador Principal | Subvención concedida o solicitada | Entidad financiadora y referencia del proyecto | Periodo de vigencia o fecha de la solicitud (2) |
|--|---|------------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| | | | EUROS | | |
| Restoration (Balanced and restored sections in Lurestan, Zagros, Iran) | 1 | J. Vergés | 32,530 € | Norsk Hydro Produksjon | 2004 C |
| Modelización numérica termomecánica de procesos de creación y destrucción de orógenos: aplicación a los Alpes y a la cordillera Bético-Rifeña | 2 | A.M. Negrodo | 15.000 € | MCYT- BTE2002-02462 | 2002-2005 C |
| Numerical modelling into thermal and mechanical aspects of crustal and lithospheric deformation | 2 | J. Platt | | University College London | 2003-2005 C |
| Neotectonic development of an active foreland basin: Multiscale image of lithosphere controls on near surface and surface processes in the Vrancea-Focsani basin-Danube Delta-Black Sea corridor. Shallow seismic and seismic data analysis components (CARFOR). | 3 | Giovanni Bertotti (VU, Amsterdam). | | NWO (Netherlands). | 2003-2007 C |
| Denudation in response to climate (Chile) | 3 | Tibor Dunai (VU Amsterdam). | | NWO (Netherlands Science Foundation). | 2003-2006 C |
| Estructura cortical y litosférica, movimientos verticales y dinámica sedimentaria en el margen septentrional del Mediterráneo Occidental (MARSIBAL) | 1 | M. Fernandez | 140.000 € | MCyT-DGI (REN2002-11230-E-MAR) | 2003 – 2005 C |
| Global Radiogenic Heat Production Studies: Application to the North Sea | 3 | M. Fernandez | 72.200 € | NORSK-HYDRO (Oil Division) | 2004 C |
| Estimation of Radiogenic Heat Production from Indirect Regional Observables | 3 | M. Fernàndez | 30.000 € | NORSK-HYDRO (Oil Division) | 2004 C |
| Reliefs de la Terre: Impact des interactions climat-tectonique-érosion dans la dynamique du relief des Andes: quantification et modélisation | 3 | G. Hérail (IRD) | 10 k€ | INSU (France) | 2004-2006 C |
| Imaging the Western Mediterranean Margins: A key target to understand the interaction between deep and shallow processes. 01-LEC-EMA22F, ESF Eurocores - EUROMARGINS. | 2 | M .Fernàndez | 1.200.000 € | Spanish, French, Dutch, German and Italian National Agencies under the European Science Foundation coordination | 2004 - 2007 C |
| Estimation of radiogenic heat production from gravity and magnetics data: the Monesterio Antiform case study | 3 | M. Fernàndez | 42.000 € | NORSK-HYDRO (Oil Division) | 2005 C |

| | | | | | |
|--|---|-----------------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|
| Geometría y estructura frontal de la faja plegada de Cuba: Estudio de líneas sísmicas y construcción de cortes compensados | 3 | J. Vergés | 60.885 € 80.600 € 6.904 € | Repsol YPF | 2005-2006 C 2006-2007 C 2007 C |
| Fluid Evolution and Diagenesis of reservoir analogs from the Zagros Fol. And Thrust Belt, Anaran Region. | 3 | J. Vergés | 73.160 € | Norsk Hydro Produksjon | 2005-2006 C |
| The Global Structure of the Lithosphere | 1 | M. Fernàndez | 112.530 € | NORSK-HYDRO (Oil Division) | 2005 – 2006 C |
| El Sistema del Arco de Gibraltar: Procesos Geodinámicos Activos de los Márgenes Sud-Ibéricos (SAGAS) | 1 | M. Fernàndez | 72.590 € | MCyT-DGI (CTM2005-08071-C03-03) | 2005-2008 C |
| Grupo de investigación consolidado “Estructura y dinámica de la litosfera” | 3 | R. Carbonell | 42.200 € | Generalitat de Catalunya | 2005-2008 C |
| Fault and Fracture Heterogeneity In Relation to Folding – Iran. | 2 | J. Vergés | 85.870 € 70.943 € | Norsk Hydro Research Centre | 2006-2007 2007 C |
| A priori geomodels and seismic acquisition – Iran. | 2 | J. Vergés | 81.375 € 67.560 € | Norsk Hydro Research Centre | 2006-2007 C 2007 C |
| Two balanced cross-sections across the Polish Outer Carpathians. | 3 | J. Vergés | 100.000 € | Total, France | 2006-2007 C |
| Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D. Topo-Iberia. | 1 | J. Gallart | 5,4 M€ | Consolider-Ingenio 2010. MCyT-DGI, CSD2006-00041 | 2006-2011 C |
| Modelado numérico de la evolución tectónica y topográfica de la cordillera del Atlas en Marruecos. TopoAtlas | 1 | D. García-Castellanos | 30.000 € | MCyT-DGI - CGL2006-05493/BTE | 2006-2009 C |
| Characterization of the early phase of folding in the Khorramabad region – Iran: Growth patterns, related folding and absolute timing | 2 | J. Vergés | 89.776 € | Norsk Hydro Research Centre | 2007-2008 C |
| Convenio de colaboración entre el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Institut Geològic de Catalunya para la realización de tareas de asesoramiento en el estudio de análisis de datos geotérmicos de Catalunya | 3 | M. Fernàndez | 25.862 € | Institut Geològic de Catalunya | 2007 – 2008 C |
| Bangestan IOR Structural Geology | 3 | J. Vergés | 247.080 € | StatoilHydroPetroleum AS | 2007-2008 C |
| Zagros - large Project for 2008 | 1 | J. Vergés | 415.435 € | StatoilHydro Research Centre in Bergen | 2008 C 2009-2010 S |
| La tectónica del Arco de Gibraltar y la Cordillera del Atlas: causas litosféricas y efectos topográficos (TOPOMED-SPAIN) | 1 | M. Fernàndez | 395.000 € | MCINN-DGI (CGL2008-03474-E/BTE) | 2008 – 2011 C |

| | | | | | |
|--|---|-----------------|-------------|--|------------------|
| Plate re-organization in the western Mediterranean: Lithospheric causes and topographic consequences (TopoMed). 07-TOPO_EUROPE_FP-006, ESF Eurocores -TOPOEUROPE | 2 | Rinus Wortel | 1.750.000 € | Spanish, Portuguese, Dutch, German, Irish and Italian National Agencies under the European Science Foundation coordination | 2008 – 2011 C |
| Shortening and uplift evolution in NW Zagros | 1 | J. Vergés | 252.800 € | Hydro Oil and Energy, Norway | 2007-2009 C |
| Regional structural analysis of the NW Zagros fold belt in Iraq | 1 | J. Vergés | 83.362,5 € | DNO Iraq AS, Oslo | 2008 C 2009 S |
| Caracterización sísmica de la corteza y manto litosférico del Alto Atlas. SISAT | 1 | I. Jiménez-Munt | 18.000 € | MCINN-DGI (CGL2008-01124-E/BTE) | 2009 C |

(1) Escribese 0, 1, 2 ó 3 según la siguiente clave: 0 = es el mismo tema; 1 = está muy relacionado; 2 = está algo relacionado; 3 = sin relación

(2) Escribese una C o una S según se trate de una concesión o de una solicitud.

7. CAPACIDAD FORMATIVA DEL PROYECTO Y DEL EQUIPO SOLICITANTE

(en caso de Proyecto Coordinado deberá rellenarse para cada uno de los equipos participantes que solicite becas)

Este apartado sólo debe rellenarse si se ha respondido afirmativamente a la pregunta correspondiente en el cuestionario de solicitud.

Debe justificarse que el equipo solicitante está en condiciones de recibir becarios (del Subprograma de Formación de Investigadores) asociados a este proyecto y debe argumentarse la capacidad formativa del equipo.

Nota: el personal necesario para la ejecución del proyecto deberá incluirlo en el apartado de personal del presupuesto solicitado. La concesión de becarios FPI, sólo será posible para un número limitado de los proyectos aprobados, en función de la valoración del proyecto y de la capacidad formativa del equipo.

El proyecto propuesto es una excelente oportunidad para la formación de un becario de doctorado que se enfrentará a la problemática de la geodinámica orogénica y al modelado de la estructura litosférica. La formación de este estudiante consistirá en el uso y desarrollo de experimentos numéricos. El desarrollo de los modelos numéricos a utilizar se inició en el seno de nuestro grupo, lo que hace que tengamos un conocimiento absoluto sobre los métodos de cálculo utilizados. Así, el doctorando contará siempre con el apoyo de personas que han desarrollado los programas y conocen perfectamente todo su funcionamiento. Se trata, por tanto de profundizar en una temática en la que el grupo tiene gran experiencia, garantizando una formación de calidad y amplio espectro.

El doctorando se centrará en el cálculo de la estructura litosférica en 3D de la cadena del Zagros. El grupo solicitante ha trabajado en la cadena del Zagros durante los últimos siete años en proyectos de investigación financiados por la compañía de petróleo StatoilHydro. Estos trabajos han proporcionado una gran cantidad de datos en particular sobre su estructura cortical y estratigrafía. Es una buena oportunidad para el aprendizaje de un doctorando en: 1) el manejo de gran cantidad de datos existentes y 2) la aplicación de los programas desarrollados en el grupo para el cálculo de la estructura litosférica. Las Montañas del Zagros son de gran interés para las compañías de petróleo, lo que también podrá proporcionar una buena salida profesional finalizada su tesis doctoral.

La capacidad y experiencia en la formación de personal investigador por parte del grupo de Dinámica de la Litosfera (GDL) del Departamento de Geofísica del ICTJA-CSIC solicitante viene avalada por los siguientes indicadores (ver CV's adjuntos del grupo investigador):

- Dirección y ejecución de dieciséis tesis doctorales, todas ellas con la calificación de Sobresaliente '*cum laude*' y, una de ellas, merecedora del premio García-Siñeriz a la mejor tesis doctoral de geofísica de España en el año 1998. Actualmente, está en curso de desarrollo una tesis doctoral.
- Docencia de diversos cursos de doctorado, masters, y seminarios conjuntos con el 'Departament de Geodinàmica i Geofísica de la Universitat de Barcelona'.
- Participación y coordinación en proyectos del programa de Capital Humano y Movilidad de la Unión Europea y dirección de becarios Post-doctorales extranjeros (TMR-UE).
- Entorno científico multidisciplinar y calificado como 'Grupo de Calidad' dentro del sistema de I+D de Cataluña (proyectos nacionales e internacionales, publicaciones en revistas de alto impacto, infraestructura científica adecuada, etc.), lo que asegura el fomento del ámbito curricular del personal en formación.
- Seguimiento y promoción de la carrera científica del personal doctorado facilitando la continuación de su formación en centros de prestigio internacional, como lo atestigua el hecho de que gran parte de los becarios pre-doctorales que han finalizado la tesis hayan realizado estancias post-doctorales en centros europeos y de Estados Unidos (p.e. Univ. California Los Angeles, Univ. de Milán, Univ. Libre de Amsterdam, Univ. College of London).
- Reincorporación de 4 becarios post-doctorales como contratados Ramón y Cajal (3 en el ICTJA-CSIC y 1 en la Univ. Complutense de Madrid). Dos de ellos participan en el presente proyecto.