

Memoria Técnica de la segunda fase del Programa de Actividad Investigadora

CONSOLIDER-INGENIO 2010 CONVOCATORIA 2006 Segunda fase

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

INVESTIGADOR COORDINADOR: José Gallart Muset

TITULO DEL PROYECTO: Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D. 'Topo-Iberia'

RESUMEN (debe ser breve y preciso, exponiendo sólo los aspectos más relevantes y los objetivos propuestos):

Topo-Iberia es una propuesta que involucra a más de 100 investigadores doctores de 10 grupos distintos. Responde a la voluntad e interés de la comunidad científica española de establecer un marco científico-tecnológico en el que desarrollar de manera integrada estudios geocientíficos multidisciplinares en nuestro país. El 'micro-continente' formado por la Península Ibérica y sus márgenes constituye un laboratorio natural idóneo, claramente reconocido a nivel internacional, para desarrollar investigaciones innovadoras y de frontera sobre su topografía y evolución 4-D. La finalidad de **Topo-Iberia** es comprender la interacción entre procesos profundos, superficiales y atmosféricos, integrando investigaciones en geología, geofísica, geodesia y geo-tecnología. El conocimiento de los cambios del relieve y sus causas es de gran trascendencia social por lo que respecta al cambio climático y a la evaluación de recursos naturales y riesgos. Se identifican tres ámbitos prioritarios de actuación, los bordes sur y norte de la placa Ibérica (Sistema Bético-Rifeño y Sistema Pirenaico-Cantábrico) y su núcleo central (Meseta-Sistemas Central e Ibérico). Se pretende configurar una base de datos y resultados multidisciplinares que permita resolver los interrogantes actualmente existentes mediante estrategias novedosas de interpretación conjunta. Objetivo fundamental del programa es incrementar decisivamente la información disponible con el despliegue sobre el terreno de una plataforma *IberArray* de observación tecnológica, multiinstrumental y de gran resolución. Con este programa nuestra comunidad podrá incorporarse a la primera línea de la investigación internacional, marcada por macro-iniciativas equiparables como TopoEurope/EuroArray en Europa o el programa Earthscope ya en curso en USA.

PROJECT TITLE: Geosciences in Iberia: Integrated studies of topography and 4-D evolution. 'Topo-Iberia'

SUMMARY:

Topo-Iberia is a proposal that involves more than 100 PhD researchers from 10 different groups. It corresponds to the willingness and interest of the Spanish scientific community to establish an integrated framework to develop multidisciplinary geoscientific studies in our country. The 'micro-continent' formed by the Iberian Peninsula and its margins constitutes a most suitable natural laboratory, well identified by the international scientific community, to develop innovative, frontier research on its topography and 4-D evolution. The objective of Topo-Iberia is to understand the interaction between deep, surficial and atmospheric processes, by integrating research on geology, geophysics, geodesy and geotechnology. The knowledge on the relief changes and its causes is of great social impact concerning the climate change and the evaluation of natural resources and hazards. Three major domains of research have been identified: the southern and northern borders of the Iberian plate (the Betic-Rif system and the Pyrenean-Cantabrian system) and its central core (Meseta and Central-Iberian systems). It is intended to build up a comprehensive, multidisciplinary base of data and results to tackle the key existing questions by developing novel interpretation strategies. A major aim of this programme is to significantly increase the high-quality information available, by deploying a technological observatory platform, IberArray, of high resolution multisampling. With this programme, our community could join the leading edge of international research, marked by similar initiatives, such as TopoEurope/EuroArray in Europe or the ongoing US programme Earthscope.

2. PROGRAMA DE ACTIVIDAD INVESTIGADORA

Se deberá incluir una versión en Inglés del mismo texto y en el mismo fichero

En esta segunda fase se valorará el Programa de actividad investigadora completo, atendiendo a los siguientes aspectos: (a) El interés y relevancia del salto cualitativo que suponga el Programa para la actividad científico-tecnológica. (b) La novedad, viabilidad y oportunidad del Programa de actividad investigadora; adecuación de la metodología; diseño de la investigación y plan de trabajo. (c) La complementariedad con proyectos de investigación u otras acciones financiadas por el Plan Nacional de I+D+i o con el Programa Marco Europeo. (d) El impacto previsible de las actividades propuestas; contribuciones científico-tecnológicas esperables. (e) La aportación financiera (cofinanciación) acreditada de otras entidades públicas o privadas, así como contratos de financiación o evaluaciones de proyectos del Programa Marco de la Unión Europea. (f) La coherencia en la planificación y entre los recursos, capacidades y objetivos propuestos. (g) La existencia de un plan adecuado y suficiente de difusión y transferencia de tecnología y de resultados. (h) La presentación de un esquema riguroso de evaluación de resultados que facilite el seguimiento del Programa con criterios predeterminados.

En el supuesto excepcional de que el Programa de actividad investigadora contenga la solicitud de financiación para el impulso de un nuevo centro, con personalidad jurídica, se tomará en cuenta: (a) El interés y relevancia del ámbito de investigación al que se dedique el nuevo centro y que aporte un fuerte valor añadido de novedad o de capacidad de articulación de actividades en su ámbito de investigación. (b) Los medios humanos y técnicos disponibles en la fase inicial de creación del centro, y el calendario de los que requiera por etapas, hasta su plena implementación. (c) La disposición de instalaciones actualizadas y, cuando corresponda, de un Plan de adquisición de infraestructuras y equipamiento. (d) La adecuación del presupuesto de establecimiento y de funcionamiento del nuevo centro con el Programa de actividad investigadora. (e) La existencia de un Plan de transferencia de tecnología y de resultados, y la relación con el sector empresarial. (f) Plan de Viabilidad del Centro (de modo que su permanencia dependa de su excelencia, además de su capacidad de atracción de recursos). Plan de captación de recursos externos tanto para la atracción de recursos humanos como de fondos.

Topo-Iberia es una iniciativa que responde a la voluntad e interés, compartido entre múltiples grupos de investigadores españoles, de establecer un marco científico-tecnológico en el que desarrollar de manera integrada estudios multidisciplinares en Geociencias sobre nuestro país. El ‘micro-continente Ibérico’ constituye un laboratorio natural idóneo, claramente reconocido por la comunidad científica internacional, para desarrollar investigaciones innovadoras y de frontera sobre los factores de control de su topografía y su evolución espacio-temporal (4-D).

2.1. Contexto internacional

En los próximos años, la investigación sobre estructura y dinámica de la Tierra va a estar marcada por megaprogramas como EARTHSCOPE, ya en curso en USA, de una duración programada de 10 años y con una financiación total de ~400M\$. Las diversas componentes de este programa (USArray, SAFOD, PBO,..) pretenden analizar las propiedades y el comportamiento de nuestro planeta a distintas escalas y con un nivel de resolución sin precedentes. Estos programas plantean serios desafíos y amenazas para la investigación europea (European Research Area-ERA), que deberá dotarse de programas equiparables que permitan mantener un nivel científicamente competitivo y aseguren la incorporación de jóvenes investigadores, evitando su ‘deslocalización’ o trasvase hacia entornos con mayores oportunidades y atractivos.

En este contexto, ha surgido la iniciativa TOPO-EUROPE, cuya finalidad es comprender la interacción entre procesos profundos, superficiales y atmosféricos que controlan la topografía de la Europa continental y sus márgenes, integrando investigaciones multidisciplinares en Geociencias (geomorfología, geología, geofísica, geodesia, control remoto, geotecnología, etc.). Para ello se dispone de amplias bases de datos plurinacionales y modelos estructurales, que deben completarse adquiriendo una mayor densidad espacial de observables, controlando su evolución temporal y diseñando estrategias novedosas de interpretación conjunta. Se ha

elaborado una primera propuesta de establecimiento de un EUROCORES-ESF, en la que se involucran 12 destacadas instituciones europeas de Holanda, Alemania, Francia, Inglaterra, Italia, España, Irlanda, Dinamarca, Noruega, Hungría y Suiza, y que ha sido evaluada y recomendada para la convocatoria de 2006. En paralelo, se están impulsando iniciativas Topo-Europe a nivel nacional, ya concretadas en países como Holanda, Noruega e Irlanda, que deben proporcionar la sinergia adecuada para alcanzar los objetivos comunes ambicionados. Además, se promueve una estrecha conexión con la industria y con la formación de jóvenes investigadores, por ejemplo, a través del programa master de excelencia BASINMASTER auspiciado y financiado por la Comisión Europea y por la industria energética europea.

Topo-Europe ha identificado hasta 6 laboratorios naturales de especial relevancia en los que concentrar la investigación futura en el ámbito europeo, uno de los cuales es precisamente el ‘micro-continente de Iberia’. La compleja historia evolutiva de Iberia, con un antepaís deformado en el interior bordeado de orógenos Alpinos en que se han sucedido procesos de compresión intraplaca y extensión, con actividad sísmica reciente muy distribuida, ofrece una oportunidad única de analizar la respuesta de una litosfera continental a esfuerzos térmicos y de límite de placas. Las deformaciones litosféricas afectan y controlan también la topografía (el relieve y el sistema de drenaje en la Península y sus márgenes continentales, y las cuencas intra-continenciales, según han mostrado recientes estudios estructurales, de termogeocronología y modelización numérica de procesos superficiales y litosféricos. La investigación en el marco de Topo-Europe debe dirigirse a establecer la configuración de la litosfera Ibérica y manto subyacente, para poder discriminar entre deformaciones inducidas por convergencia de placas y efectos de anomalías térmicas profundas relacionadas con plumas mantélicas y despegues y retraimiento del sistema de subducción Alpino-Tético. Asimismo, desarrollar una nueva generación de modelos dinámicos de la deformación neotectónica y la evolución topográfica.

El planteamiento científico de Topo-Europe se apoya en un componente tecnológico fundamental, la plataforma o ‘pool’ de instrumentación observacional EUROARRAY, un “Terrascopio” multi-sensor de sísmica, GPS, magnetotélúrica, etc. EuroArray ha decidido impulsar una primera iniciativa temática denominada PICASSO, en el área de interacción entre las placas Ibérica y Africana, que comporta investigaciones multi-disciplinarias a partir de redes observacionales que muestreen de manera densa y homogénea la región del sur de Iberia-norte de África y el dominio marino intermedio de Alborán-Golfo de Cádiz, con la finalidad de establecer la estructura 3-D, geodinámica y neotectónica de una región altamente compleja en la que se han propuesto modelos evolutivos muy diversos, y que atrae el interés de una amplia comunidad científica internacional.

El potencial científico y la trayectoria investigadora de los diversos grupos activos en geodinámica y geofísica en nuestro país les capacita sin duda para desempeñar un papel de liderazgo y coordinación en todas las posibles actividades de Topo-Europe en Iberia, en la iniciativa temática Picasso, etc., así como tener una participación relevante en otros proyectos internacionales futuros del mayor interés científico-tecnológico. No obstante, un requisito indispensable para poder asumir ese papel es disponer de una estructura de organización interna más sólida y estable, que facilite la cohesión entre grupos histórica y geográficamente dispersos, establezca objetivos comunes de investigación de gran calado, con el adecuado soporte de instrumentación experimental, y genere resultados y modelos integrados de interpretación. Esta es la motivación de la solicitud de TOPO-IBERIA que se presenta aquí.

2.2. Fundamentos

La configuración del relieve terrestre (topografía continental y batimetría marina) y los cambios que puedan producirse en nuestro entorno geográfico natural tienen una trascendencia social innegable, ya que marcan las condiciones de habitabilidad y desarrollo futuro de la actividad humana. Los cambios en el relieve pueden producirse a ritmos temporales muy variados y tener causas muy diversas, de tipo natural o antropogénico, pero deben ser tenidos muy en cuenta en aspectos como evaluación de recursos y riesgos naturales, cambio climático, etc.

Hasta hace poco tiempo se analizaba la topografía continental en relación únicamente con una serie de procesos que tienen lugar en la superficie terrestre y en la atmósfera. Estudios recientes han reconocido la importancia e influencia que sobre la topografía ejercen también los procesos geológicos profundos, a nivel de litosfera y manto terrestre. El grado de impacto de tales procesos profundos y las relaciones de interdependencia y retroalimentación que existen entre todos ellos son aún mal conocidos y poco cuantificados. Para su comprensión se requieren estudios innovadores, multidisciplinarios e integrados en el ámbito de las Ciencias de la Tierra. Los modelos estructurales y evolutivos deben basarse en conjuntos de datos con una resolución muy superior a la disponible actualmente, para lo que se requerirán acciones de adquisición de nuevos datos con gran densidad mediante plataformas experimentales multidisciplinarias.

2.3. Finalidad y Objetivos

La finalidad de este programa es generar resultados y modelos predictivos de mayor resolución en espacio y en tiempo sobre la topografía y evolución de la placa Ibérica. La innovación de su planteamiento radica en analizar de forma conjunta e integrada la influencia de procesos superficiales y procesos profundos. Entre los diversos fenómenos que se espera cuantificar con trascendencia social directa, cabe resaltar los efectos de levantamiento y subsidencia en los cursos de los mayores sistemas fluviales usando técnicas analíticas de medición in-situ de ritmos de erosión y denudación. Asimismo, predicción de cambios de elevación, de geo-riesgos diversos o de evolución de acuíferos de agua potable, a partir del conocimiento de cambios en el estado de esfuerzos, ya sea de origen natural o inducidos artificialmente. La información disponible, existente y de nueva adquisición, sobre las propiedades físicas de los materiales terrestres a diversas escalas permitirá modelizar umbrales de inestabilidad de fallas y cuantificar liberaciones de esfuerzos después de una ruptura de falla (terremoto). Los avances en modelos de deformación cortical y en la comprensión de procesos termomecánicos de corteza y manto superior deben contribuir también a la temática de mitigación de geo-riesgos.

En primer lugar, pueden identificarse unos *Objetivos genéricos* de este programa, en la línea marcada por iniciativas internacionales como Topo-Europe/EuroArray que, juntamente con las acciones para su consecución serían:

- 1) *Establecimiento de una plataforma común de trabajo, en forma de red integrada de centros/grupos*. Ello requerirá una acción básica, continuada en el tiempo, de coordinación entre los responsables de grupos, y de organización de workshops de intercambio y puesta en común de la información multidisciplinar.

- 2) **Formación y mantenimiento de una base integrada de datos geológico-geofísicos, funcional y accesible**, que facilite además abordar el desarrollo de un plan de tipo 'MAGNA-geofísico'. Para ello, se interaccionará con estructuras ya existentes a nivel internacional, como la organización europea Orfeus, el programa Neries de la UE o el servidor Pangea.
- 3) **Desarrollo y gestión de una plataforma multi-instrumental y pluridisciplinar Iber-Array de observación de la tierra** para el estudio del subsuelo y de su impacto ambiental. España carece de una gran infraestructura de estas características, equivalente a observatorios astronómicos o instalaciones de altas energías para el estudio de la constitución de la materia, la cual resulta indispensable para el desarrollo de una investigación geo-científica innovadora y de frontera, acorde con las expectativas internacionales. Este es un eje fundamental de este programa, encaminado a obtener nuevos datos multidisciplinares con una gran resolución que permitan resolver los interrogantes actualmente planteados. Con esta nueva información, se ampliarán progresivamente las bases generales de datos. Por otra parte, se requerirán acciones específicas de adquisición sobre el terreno de datos geológico-geofísicos con mayor densidad en zonas determinadas, algunas de las cuales pueden realizarse en el marco del presente programa y otras, de mayor envergadura, deberán plantearse en forma de proyectos independientes.
- 4) **Desarrollo metodológico y modelización**. El programa Topo-Iberia tiene como principales ejes de actuación la integración de diversos datos y métodos geológicos y geofísicos, y el estudio de la interacción entre procesos geodinámicos superficiales y profundos. Ambos aspectos requerirán un esfuerzo importante en el desarrollo de nuevas metodologías de adquisición, procesado e integración de datos, así como la generación de nuevos algoritmos físico-matemáticos y su incorporación en métodos de simulación numérica y analógica.
- 5) **Coordinación de la investigación a nivel internacional**. Se impulsarán acciones que permitan la necesaria interacción con programas genéricos como Earthscope o TopoEurope-EuroArray, así como con proyectos más específicos con grupos directamente relacionados, tanto a nivel científico como tecnológico (puesta en común de instrumentación, etc.).
- 6) **Educación/formación de especialistas y difusión de la información**. Para ello se plantea diseñar un programa de master y doctorado de excelencia, difundir los resultados entre la comunidad científica y la sociedad en general, y proporcionar herramientas y recursos a todos los niveles a la comunidad educativa y responsables públicos.

Los **Objetivos más específicos de Topo-Iberia**, cuya consecución requerirá el uso de Metodologías e implementación de Tareas que se detallarán en los siguientes apartados, pueden agruparse en tres vertientes principales que incluyen el *Estudio de la Estructura y Dinámica de la Corteza Superior Terrestre, de la Corteza Profunda y Manto Superior, y de la Interacción entre Procesos Superficiales y Profundos*. De forma esquemática, los objetivos específicos de estas tres vertientes son:

- Análisis detallado de la topografía, batimetría y geomorfología
- Determinaciones de alta precisión de movimientos verticales y horizontales
- Tasas de sedimentación, erosión, levantamiento y subsidencia durante el Plio-Cuaternario

- Riesgos geológicos asociados a deslizamientos e inestabilidad de taludes
- Evolución de los sistemas fluviales, redes de drenaje y sistemas costeros.
- Obtención de parámetros geofísicos de alta resolución para la caracterización de la corteza y manto
- Localización de estructuras activas relacionadas con los límites de placas
- Caracterización y evolución de las principales estructuras tectónicas
- Actividad sismotectónica y riesgo geológico asociado
- Superposición de campos de esfuerzos regionales y locales y tectónica superficial.
- Equilibrio isostático, redistribución de masas a distintos niveles litosféricos y sublitosféricos y generación de relieve.
- Influencia de la variación de relieve y clima sobre la deformación tectónica cortical
- Variaciones de densidad inducidas por cambios en las condiciones P-T y cambios de fase y su influencia sobre movimientos verticales.
- Identificación de mecanismos geodinámicos responsables de la deformación litosférica

2.4. Acciones de investigación.

Topo-Iberia es un programa multi-dimensional, con interrelación e interacción entre sus respectivos componentes y con integración de resultados para establecer un modelo de la topografía y evolución 4-D de nuestro entorno natural. Las acciones a emprender pueden catalogarse, en función de los ámbitos o tipos de actuación en: **Metodológicas**, **Regionales** y **Temáticas**.

Las acciones **Metodológicas** comportarán estudios experimentales utilizando técnicas de sísmica, medición de deformaciones por geodesia/GPS, geología estructural, tectónica activa y paleosismicidad, geocronología, magnetotelúrica, gravimetría, magnetismo y paleomagnetismo, imágenes satélite, etc. Se abordará la adquisición de nuevos datos mediante sistemas de observación de alta densidad y cobertura (plataforma multi-instrumental IberArray), que completen las bases de datos ya existentes, permitiendo un análisis integrado con la resolución necesaria. El entorno marino (márgenes continentales y cuencas adyacentes) requerirá el desarrollo y utilización de sistemas y técnicas de geología y geofísica marinas. Se desarrollarán asimismo nuevos métodos de análisis e interpretación de datos y modelización analógica y numérica evolutiva.

Las actuaciones a nivel **Regional** consistirán en estudios de sistemas orogénicos incluyendo cuencas de antepaís y márgenes continentales en tres zonas o ámbitos: Sur, Centro y Norte. En el Sur: los órogenos de Béticas-Rif y Atlas, y los dominios marinos intermedios del prisma de acreción del Golfo de Cádiz y la cuenca del Mar de Alborán. En el Centro: Meseta, Sistema Central y Sistema Ibérico, incluyendo las Cadenas Costeras Catalanas y cuencas del Levante peninsular. En el Norte: Cordilleras Cantábrica y Pirenaica, incluyendo cuencas del Duero y Ebro, y márgenes Cantábrico y Galaico. Además, determinados estudios específicos deberán abarcar un ámbito suprarregional, incluyendo la totalidad de la Península Ibérica y norte de África (estudios geopotenciales, deformación litosférica, caracterización del manto superior, etc.).

Las acciones **Temáticas** consistirán en investigaciones integradas de *Procesos superficiales* y *Procesos profundos*. En este ámbito, cabe destacar diversas acciones transversales que permitan estudiar la interacción entre tectónica, erosión-sedimentación y clima (estudios de impacto medioambiental), cambio global, recursos naturales y riesgos geológicos. Una segunda acción transversal contempla la interrelación entre la estructura cortical y litosférica

(geometría), estado térmico, composición mineralógica y propiedades petrofísicas, estado de equilibrio potencial (isostasia), y generación de magmatismo. Por último, una tercera acción transversal deberá contemplar el desarrollo de una nueva generación de herramientas de simulación numérica y analógica que permita descifrar con mayor precisión los procesos geológicos incorporando el mayor número de observables y elementos conceptuales.

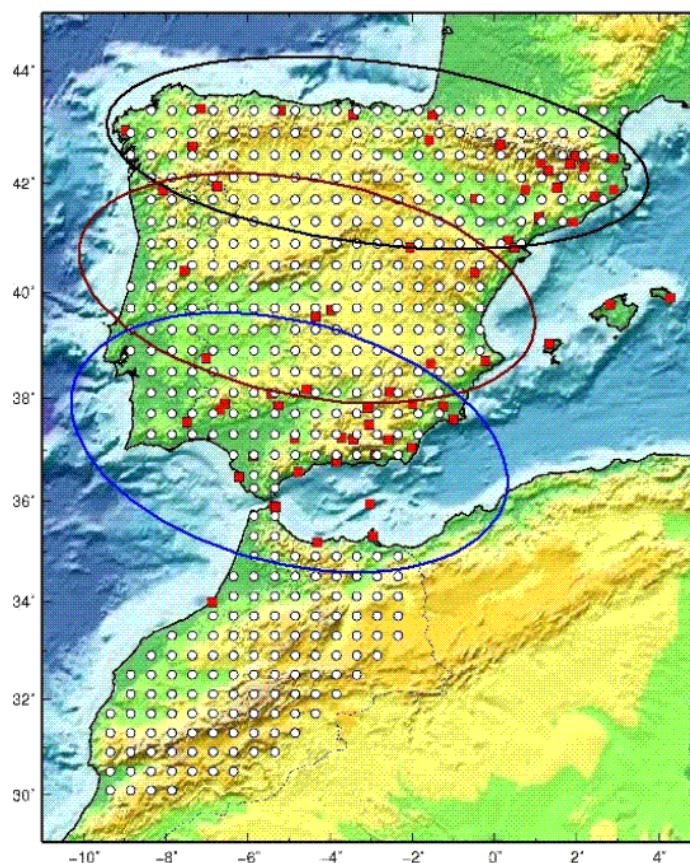
2.5. Metodologías de análisis

El uso combinado de las distintas técnicas geofísicas, geodésicas, geológicas, geocronológicas y de prospección permitirá establecer la estructura interna de los ámbitos de investigación, ya que analizan las diferentes propiedades físicas que caracterizan la naturaleza y geometría de los materiales. *Topo-Iberia* se propone incrementar decisivamente la información experimental disponible con el despliegue sobre el terreno de una plataforma *IberArray* de observación tecnológica, multiinstrumental y de gran resolución.

Las metodologías a utilizar en las distintas Tareas que se plantean en el proyecto pueden resumirse así:

2.5.1. Métodos de Sísmica pasiva (Registros de terremotos)

Las distintas metodologías sísmicas que se abordarán se basan en los registros de terremotos locales, regionales y telesismos. En ellas tendrá un papel fundamental la adquisición de nuevos datos a partir del despliegue de una red sísmica temporal de banda ancha que abarque, de forma sucesiva, los tres ámbitos de investigación identificados en el apartado 2.4. Esta red de intervención estará compuesta por un mínimo de 80 estaciones sísmicas, en parte adquiridas en el marco de este proyecto ('pool' nacional) y en parte procedentes de las instituciones participantes o de otros grupos internacionales, desplegadas según una red con nodos espaciados entre sí unos 50-60 km, y aprovechando también las estaciones permanentes ya existentes. Se obtendrá así una cobertura espacial simultánea y homogénea, de una densidad y con una resolución sin precedentes.



Esquema de una malla de 50 km x 50 km cubriendo la Península Ibérica (incluye la zona Nor-Africana de interés en el proyecto internacional Picasso) en la que se implementaría instrumentación sísmica. En cuadrados rojos se indican las estaciones sísmicas permanentes de banda ancha actualmente operativas. Los tres círculos indican los ámbitos de despliegue de IberArray: Sur (azul); Centro (rojo) y Norte (negro).

Los registros sísmicos que se obtengan serán analizados con distintas metodologías. En una primera fase, se incrementará la precisión en la localización de la sismicidad regional, introduciendo análisis de formas de ondas y técnicas avanzadas. Especial énfasis se pondrá en la aplicación de métodos de inversión tomográfica para la obtención de imágenes estructurales. Se trabajará no solamente con tiempos de llegadas de ondas internas P y S, a nivel local/regional y global, sino también con ondas superficiales, usando medidas de dispersión e incluyendo análisis a partir de ruido ambiental. Asimismo, se obtendrán imágenes de estructura interna a partir de funciones receptoras y se evaluará la existencia de anisotropía en el manto a partir de la birrefringencia de ondas de cizalla.

a) Localización de terremotos utilizando técnicas avanzadas

Desde un principio, el proyecto se plantea lograr que las determinaciones de los tiempos de llegada de las distintas fases sísmicas (eventos locales, regionales o telesísmicos) registradas en toda la red sean lo más precisas, fiables y consistentes posible, a fin de obtener mejores modelos de estructura y localizaciones de terremotos. Para ello se propone aplicar técnicas de selección de fases que utilizan la similitud entre las formas de onda, ya sea por correlación cruzada o por ‘adaptive stacking’.

A partir de esta base de nuevos datos de gran densidad y fiabilidad, se abordarán las

localizaciones hipocentrales con métodos basados en dobles diferencias, 'grid search' (función densidad de probabilidad), métodos de máxima intersección para eventos fuera de la red, y se usarán modelos 3-D de velocidades.

b) Tomografía sísmica

Se abordará por una parte una inversión tomográfica a partir de tiempos de llegada de terremotos locales/regionales (primeras llegadas de fases Pg y Pn, y fases S). Se usarán métodos que permiten una parametrización de celdas irregulares, en que los tiempos de llegadas teóricos son calculados utilizando diferencias finitas, y los tiempos reales son invertidos para obtener la estructura de velocidades, relocalizándose simultáneamente los terremotos. De manera análoga, se abordará una tomografía sísmica a escala global a partir de tiempos de llegada.

Al comienzo del proyecto se llevará a cabo una primera inversión utilizando tiempos de llegada de los boletines sísmicos publicados. Este modelo 3D preliminar será utilizado para la localización de terremotos locales. Asimismo servirá para determinar con criterios cuantitativos la localización de estaciones de la red temporal que deberán cubrir los huecos en cobertura de las redes permanentes. Posteriormente, cuando se hayan recogido un número significativo de nuevos tiempos de llegada de terremotos locales en las redes temporal y permanente se generará un modelo tomográfico actualizado, que será el que se utilice para la integración de resultados e interpretación geodinámica. Para la tomografía global se procederá de modo análogo con los datos de eventos regionales y telesísmicos.

Por otra parte, se abordará una tomografía sísmica a escala regional o continental utilizando medidas de dispersión de ondas superficiales Love y Rayleigh (velocidad de grupo del modo fundamental), abarcando hasta periodos muy cortos, de 5 s, para obtener modelos de velocidades de ondas S con buena resolución desde los niveles superficiales. Una vez se disponga de un número suficiente de medidas de dispersión de velocidad de grupo se generarán mapas de velocidades a diferentes periodos, desde 5 a 100 segundos. El uso simultáneo de ambas ondas permitirá además evaluar la existencia de anisotropía ('transverse isotropy') en el manto superior.

En tercer lugar, se planteará una tomografía con ondas superficiales generadas a partir de ruido ambiental (producido por los océanos y perturbaciones atmosféricas) y que son por tanto independientes del nivel de sismicidad de la zona. Este tipo de métodos, desarrollados recientemente, se basan en que la correlación cruzada de un campo de ondas aleatorio e isótropo entre varias estaciones resulta en una onda que difiere sólo en un factor de la función de Green entre las estaciones. De este modo pueden obtenerse mapas de velocidad de grupo a periodos cortos (5-20 segundos), los cuales pueden compararse con los obtenidos a partir de terremotos, y sirven además para obtener modelos de velocidad de onda S particularmente bien resueltos para la corteza superior, incluyendo las capas más superficiales.

c) Funciones Receptoras

Las funciones receptoras permiten determinar la estructura sísmica, y en particular las variaciones de espesor cortical, en la vertical de la estación de registro a partir del análisis de las conversiones de fase P-S sufridas por las ondas telesísmicas incidentes. Mediante los registros en una estación, es posible invertir un modelo 1-D de la estructura de velocidad sísmica, así como inferir informaciones respecto al coeficiente de Poisson de la zona. Con estaciones dispuestas a lo largo de perfiles, se pueden obtener secciones sísmicas en las que se

identifican las principales discontinuidades litosféricas y sus variaciones laterales de profundidad. Se obtiene así, mediante una metodología completamente independiente, una información comparable a la proporcionada mediante experimentos basados en fuentes artificiales.

El uso de sensores de banda ancha permite analizar mediante las funciones receptoras la estructura del manto, ya que es posible identificar en las secciones obtenidas las discontinuidades de 410 y 660 km. La observación de variaciones de profundidad en dichas discontinuidades permite inferir variaciones de la velocidad media tanto en el manto superior como en la zona transicional del manto, complementando los resultados obtenidos mediante técnicas de tomografía.

Se aplicarán las técnicas basadas en funciones receptoras de ondas P y S a todas las estaciones de banda ancha de las redes permanentes y a las estaciones de la red temporal. La disposición prevista de las estaciones de la red temporal permitirá aplicar técnicas de procesado 2D a lo largo de transectas N-S y E-W. Se utilizarán de forma conjunta los datos de la red de estaciones temporales previstas y la base de datos acumulada por las redes permanentes.

d) Anisotropía sísmica

Los parámetros de anisotropía acimutal obtenidos a partir del análisis de la birrefringencia de las ondas de cizalla telesísmicas permiten obtener informaciones relevantes respecto a los procesos geodinámicos que afectan a la litosfera y manto. Actualmente está bien establecido que la mayor contribución al efecto anisótropo (anisotropía acimutal) proviene de la litosfera subcortical y del manto sublitosférico y se debe a la orientación preferencial de la red cristalina de los minerales que constituyen el manto superior.

El mecanismo que origina esta orientación es aún motivo de debate. En las zonas activas (dorsales oceánicas, rifts, zonas de subducción) parece claro que el proceso dinámico queda reflejado en las propiedades anisótropas del medio, aunque la relación no sea siempre simple. En las zonas que no están afectadas por una tectónica activa, coexisten dos grandes grupos de teorías al respecto del origen de la LPO; las que hacen una interpretación dinámica, asociando la orientación preferencial de la red a flujos en el manto astenosférico y las que interpretan dicha orientación como algo fijado en la manto superior desde el último episodio tectónicamente significativo del área investigada.

Se inspeccionarán todos los eventos telesísmicos con magnitud igual o superior a 5 a distancias epicentrales entre los 85 y 120 grados registrados tanto en la red permanente como en la red temporal para seleccionar las llegadas de fases de cizalla, básicamente SKS, SKKS y PKS, de buena calidad.

La medida de los parámetros anisótropos (ϕ y δt) se obtendrá mediante un proceso de 'grid-search' en el que se analizará el ajuste de las dos componentes horizontales para distintos sistemas de coordenadas y decalajes en tiempo. Si se observan variaciones azimutales en los parámetros obtenidos para una misma estación se elaborarán modelos de interpretación que permitan dar cuenta de ellos. La posible variación espacial de los parámetros anisótropos aportará informaciones de interés referentes a la geodinámica profunda de la región, en particular la intensidad y dirección del flujo en el manto.

2.5.2. Magnetotelúrica

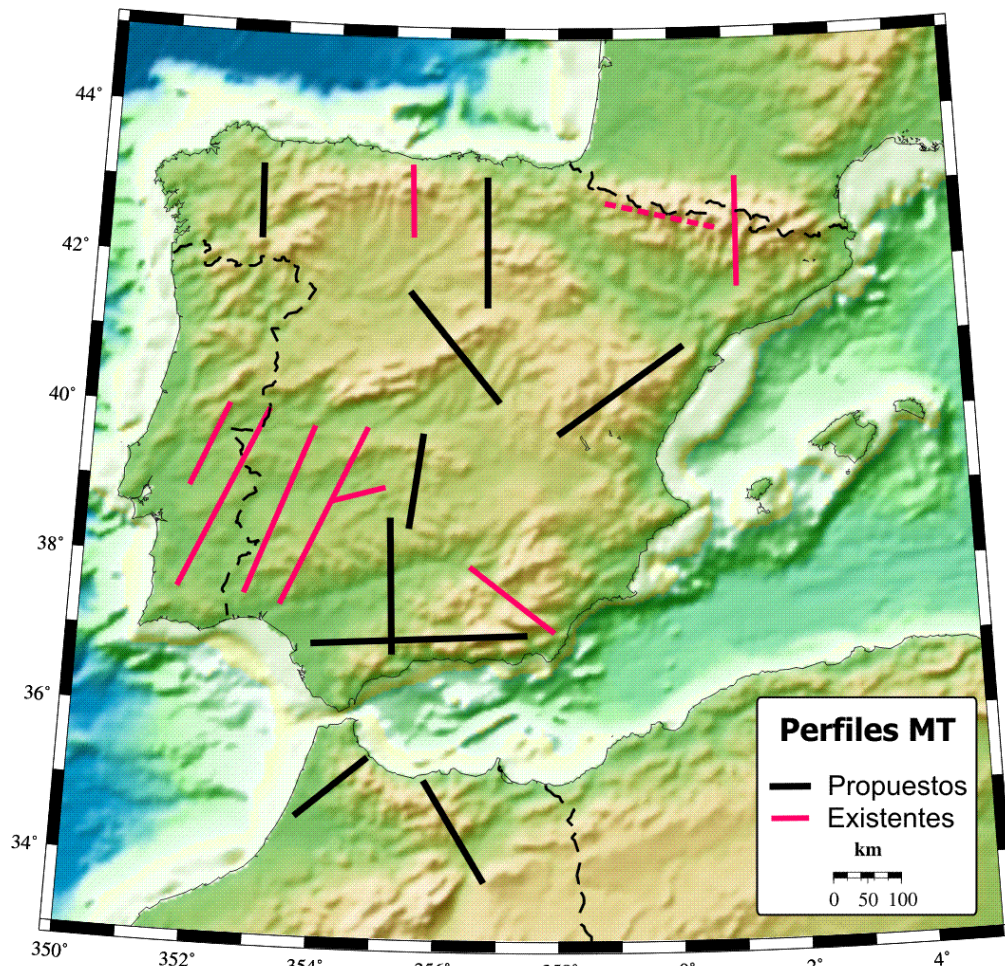
El método magnetotelúrico se fundamenta en efectuar mediciones simultáneas en la superficie de las variaciones temporales de los campos eléctrico y magnético, que permiten obtener estimaciones de la distribución litosférica de la resistividad eléctrica. Este parámetro físico es particularmente sensible a pequeños cambios en determinados constituyentes menores en la composición de las rocas (grafito, fluidos salinos libres, pequeños porcentajes de fusión parcial, etc.) que son muy importantes desde el punto de vista tectónico. La profundidad de estudio viene determinada por el rango de periodos registrados, existiendo instrumentación específica para cada rango. En los últimos años, este método ha experimentado un notable desarrollo tecnológico y metodológico, mejorando sensiblemente sus prestaciones (eliminación de distorsiones, ruidos ambientales, inversión 2-D y 3-D, etc.). Hoy día se considera una técnica complementaria e independiente de la metodología sísmica, de gran interés en estudios integrados de estructura interna.

Su implementación más habitual y eficaz es en forma de perfiles magnetotelúricos, compuestos por sondeos que permiten conocer la distribución y anisotropía de la resistividad eléctrica en los materiales de la corteza y el manto superior. Durante la década de los noventa se han realizado estudios de magnetotelúrica en diferentes contextos geodinámicos de la Península. En el presente proyecto se propone la realización de perfiles en los ámbitos de investigación, que proporcionen también unas transectas integradas a escala peninsular. Paralelamente se instalarán dos estaciones permanentes de magnetotelúrica de periodo muy largo (10^5 s). Los emplazamientos se buscarán en lugares estratégicos en función del ruido. Estas estaciones, además de proporcionar datos a gran profundidad se utilizarán como bases de referencia para el establecimiento de la referencia remota durante las campañas de adquisición de los nuevos perfiles que a continuación se detalla.

En el ámbito Sur se proponen dos perfiles ortogonales en la zona occidental de la Cordillera Bética, en la que existen escasos datos previos sobre su estructura cortical. Ambos perfiles atraviesan zonas sismogénicas, como la depresión de Granada o el entorno de Málaga. En la Cordillera del Rift se realizarán dos perfiles perpendiculares a las principales estructuras.

En el ámbito Centro se propone un perfil de dirección NW-SE con el fin de caracterizar e investigar la estructura alpina del Sistema Central, y otro a través de la cadena Ibérica, coincidente con un perfil de sísmica de refracción adquirido recientemente. Se propone asimismo un tercer perfil MT en el sector más oriental de la zona Centroibérica, coincidiendo con el perfil de sísmica de reflexión profunda ALCUDIA.

Por último, en el ámbito Norte, se plantea un perfil de dirección N-S desde la Cadena Ibérica hasta la costa, atravesando la Sierra de la Demanda y la Cuenca mesozoica Vasco-Cantábrica, y un perfil a través de las estructuras variscas de la zona Astur-Occidental Leonesa, en un sector que presenta una marcada anomalía magnética y donde se encuentra una zona sismogénica relevante del NW de la Península.



Perfiles de Magnetotelúrica propuestos (en negro) y ya existentes (en rojo) en los distintos ámbitos

2.5.3. Gravimetría, magnetometría y paleomagnetismo.

Se propone realizar mediciones complementarias gravimétricas, magnéticas y de paleomagnetismo a lo largo de diversas transversales en la Península y Norte de África para precisar la estructura de la litosfera. Además, se realizarán mallas de medidas gravimétricas que cubran las principales cuencas sedimentarias, y mallas de medidas magnéticas en aquellos sectores donde se localicen anomalías intensas, que suelen estar asociadas a cuerpos de rocas básicas. El resultado de estos perfiles dará una mayor precisión sobre las características de la estructura litosférica y en especial de las regiones sismogénicas.

La signatura gravimétrica, junto con el conocimiento de la estructura de la corteza superior (distribución de cuencas sedimentarias, profundidad del zócalo) se utilizará para evaluar el estado isostático 3D de áreas seleccionadas, para conocer la contribución de la corteza y del manto a la topografía, e identificar zonas fuera de equilibrio en las que el relieve esté dinámicamente soportado.

2.5.4. Simulación (modelización) numérica y analógica

La simulación o modelización numérica incluye dos ámbitos claramente diferenciados: la modelización estática o caracterización de estructuras, y la modelización evolutiva de dichas estructuras, que a su vez incluye modelos cinemáticos y dinámicos. Por el contrario, la simulación analógica o modelos análogos, suelen concernir únicamente a procesos evolutivos.

a) Modelos integrados para la caracterización de la corteza y manto superior

En modelos de escala litosférica en 2D y 3D, la metodología que se pretende aplicar se fundamenta en la resolución simultánea de las ecuaciones potenciales, equilibrio isostático y régimen térmico. Ello permite tratar de forma integrada diversos observables geofísicos, tales como gravimetría, geoide, elevación topográfica, y flujo de calor, en los que las variables de enlace son el grosor de la corteza y del manto litosférico y sus correspondientes densidades medias. Una vertiente novedosa de dichos modelos es la incorporación de la petrofísica y mineralogía (*mineral physics*) puesto que permite establecer la densidad y módulos elásticos en función de la edad, composición y condiciones de presión y temperatura de las rocas.

La aplicación de esta metodología tiene las siguientes finalidades: i) Determinar la estructura de la corteza y manto superior; ii) Buscar relaciones físico-matemáticas que permitan correlacionar anomalías de velocidad de propagación de ondas sísmicas y anomalías de densidad / temperatura; iii) Compatibilizar la estructura resultante a partir de datos geopotenciales con la obtenida a partir de los análisis tomográficos; y iv) Evaluar a partir de las diferencias entre los modelos tomográficos y potenciales la magnitud y origen de la topografía dinámica atribuible a niveles sublitosféricos.

En un ámbito de estudio más local, se utilizarán metodologías convencionales en 2D y 3D de cálculo directo e inversión numérica de campos potenciales, esencialmente gravimetría y magnetismo, junto con datos de sísmica de reflexión para la caracterización detallada de estructuras en la corteza superior.

b) Simulación numérica de procesos de deformación litosférica

Estos modelos consisten en la resolución numérica de la ecuación de conservación de momento, masa y energía mediante la implementación de ecuaciones constitutivas para distintos tipos de rocas correspondientes a las diversas capas o fases que se deseen distinguir en una sección vertical de escala litosférica. En el ámbito de modelos dinámicos de deformación litosférica deben destacarse dos aproximaciones diferenciadas y complementarias: modelos de reología estratificada (plane strain), y modelos de reología promediada (plane stress). En el primer caso, se modeliza una sección litosférica y/o del manto superior y, por tanto, es especialmente apropiada la simulación de procesos de subducción litosférica, delaminación mantélica, erosión convectiva del manto, colisión continental y desarrollo y evolución de márgenes pasivos. Los resultados obtenidos son comparados con restituciones tectónicas y datos paleotermométricos, paleobarométricos, exhumación, magmatismo, etc. En el segundo caso, se asume que la litosfera se comporta como una lámina delgada con una reología viscosa promediada verticalmente. Esta metodología permite simular la deformación litosférica en escalas de tiempo geológico (grandes deformaciones), y en estudios geotectónicos (deformación infinitesimal). En el primer caso, los resultados del modelo son comparados con observables temporales (reconstrucciones cinemáticas de placas, tasas de levantamiento y subsidencia, geobarómetros y geotermómetros, etc.) y con la estructura actual de la litosfera. En el segundo caso, las velocidades superficiales instantáneas (horizontales y verticales) y la distribución de esfuerzos se contrastan con medidas geodéticas, rotaciones de bloques obtenidas de estudios paleomagnéticos, y datos de orientación y magnitud de esfuerzos (break-outs, momento tensor en terremotos, deformación sísmica, etc.).

c) Simulación numérica de la dinámica de procesos superficiales

El objetivo fundamental es obtener una mejor comprensión de la evolución del paisaje terrestre como resultado de la erosión, los cambios climáticos, el transporte fluvial de

sedimento, la deformación tectónica a escala cortical y los movimientos isostáticos verticales. La capacidad de los ríos a incidir en la roca y transportar sedimento en función de la descarga de agua que contienen y de la pendiente a lo largo de su cauce se integra numéricamente con procesos tectónicos y climáticos mediante la imposición de condiciones cinemáticas y reológicas en la litosfera en el plano vertical, y variaciones de parámetros climáticos en las condiciones de contorno en la superficie del modelo.

La metodología descrita permite la aplicación de estos modelos a diversas escalas (locales, regionales y supraregionales). En particular, y en combinación con datos geocronológicos y geomorfológicos, permite simular de forma cuantitativa los procesos de incisión fluvial y evolución de las redes de drenaje, así como cuantificar las tasas de transporte de masa superficial (erosión/sedimentación) y su interrelación con procesos de deformación tectónica.

d) Simulación analógica

La modelación analógica a escala proporciona información gráfica y visual (cualitativa) de la evolución espacio-temporal de estructuras geológicas complejas. Los materiales utilizados en la modelación analógica no sólo permiten reproducir las geometrías de deformación sino que tienen propiedades reológicas escalables en relación a los materiales que componen la corteza y el manto. El uso de artilugios mecánicos de gran precisión y sofisticación permite reproducir diversas condiciones tectónicas que son asimilables a la formación y evolución de procesos tectónicos reconocibles en la corteza superior (pliegues, cabalgamientos, colisiones oblicuas, diapirismo, etc.), y en el manto (subducción, delaminación, erosión mantélica, etc.). En el presente proyecto, el modelado analógico está principalmente orientado a procesos de escala cortical para comprender la formación de estructuras características de la tectónica de la Península Ibérica. Estas estructuras están fuertemente condicionadas por la distribución del campo lejano de esfuerzos asociado al movimiento relativo de África y Eurasia, y la propagación de esfuerzos en la microplaca de Iberia.

2.5.5. Dataciones

La cuantificación de los procesos de levantamiento y de la evolución de la superficie requiere la utilización de métodos de datación. Se utilizarán métodos que permiten obtener información a escalas temporales complementarias.

a) Termocronología basada en Huellas de Fisión y U-Th/(He)

Las técnicas de termocronología en sistemas de baja temperatura permitirán el estudio de la evolución tiempo-temperatura (t-T) de los niveles más externos de la corteza, en donde las temperaturas varían desde 25° C hasta 250-300° C. Los procesos de levantamiento que operan a escalas temporales entre varios millones de años y decenas de millones de años se estudiarán a partir del análisis de huellas de fisión y de U-Th/(He) en apatitos y circones, y también a partir de indicadores sedimentarios. Las huellas de fisión se utilizarán, además, para establecer áreas de procedencia sedimentaria y su evolución, así como para determinar las historias termales de baja temperatura mediante modelización matemática de datos de edades y de longitudes de huellas confinadas. Las técnicas de datación U-Th/(He) permitirán completar, en la zona de más baja temperatura (= 70° C) en donde las huellas de fisión no sufren borrado térmico, las historias termales obtenidas mediante datos de huellas de fisión en apatito. Adicionalmente, también se utilizarán indicadores mineralógicos y geoquímicos para establecer las variaciones climáticas durante este intervalo de tiempo. Sobre muestras seleccionadas se realizarán análisis de la composición mineralógica total, de la de las

asociaciones de minerales de la arcilla y del contenido en elementos mayores y traza.

b) Isótopos Cosmogénicos in Situ

La concentración de Isótopos Cosmogénicos in Situ en rocas o sedimentos superficiales es función, entre otros factores, del tiempo de exposición de la superficie a la radiación, y de la velocidad de denudación (o de agradación de sedimentos) que ha experimentado la superficie del terreno. Los Isótopos Cosmogénicos in Situ son útiles para estimar las tasas de evolución del relieve en una ventana temporal relativamente corta, generalmente entre unos pocos millares de años y un millón de años.

El isótopo cosmogénico ^{10}Be se utilizará para datar las superficies del terreno (cálculo de edades de exposición): Para ello, se muestrearán superficies de erosión sobre roca del substrato (p. ej. superficies de erosión fluvial, plataformas de abrasión marina), o bien superficies deposicionales que se hayan generado en un período relativamente corto de tiempo (p. ej. terrazas fluviales, abanicos aluviales). También se utilizará el ^{10}Be para el cálculo de tasas de denudación o acumulación a nivel local (en superficies de roca o superficies sedimentarias), y para el cálculo de la velocidad de erosión media a nivel de una cuenca de drenaje (a partir de la medición de la concentración en isótopo cosmogénico en sedimentos fluviales).

2.5.6. Análisis cuantitativo del relieve.

Para el análisis cuantitativo del relieve tanto en las regiones emergidas como en los márgenes y cuencas marinas se utilizarán modelos digitales del terreno (MDT) y datos de batimetría de alta resolución integrados en sistemas de información geográfica (SIG). La combinación de ambos nos permitirá realizar un estudio completo de la superficie topográfica mediante la obtención de índices geomorfológicos en frentes montañosos, cuencas de drenaje y márgenes continentales. Además, facilitarán la realización de mapas de pendientes, esenciales en la evaluación de zonas susceptibles a las inestabilidades de taludes. Los MDT se analizarán con software tipo ArcGIS, Hydrotools, Rivertools, GMT e IDRISI. También se utilizarán rutinas específicas para el cálculo de índices y parámetros relacionados con la red de drenaje. El tratamiento de estos datos se realizará por métodos estadísticos para la obtención de mapas de anomalías. Para zonas de especial interés se obtendrán MDT propios a partir de restitutiones fotogramétricas automáticas sobre fotografías aéreas de diferentes escalas y fechas.

2.5.7. Reconocimiento y caracterización de estructuras sísmicamente activas.

Desde el punto de vista sísmico existen dos tipos de fallas activas: las que han producido terremotos en un periodo instrumental y las que no. Su reconocimiento y caracterización se realizarán de forma diferente.

a) Fallas sismogénicas que han producido terremotos instrumentales: Inversión del tensor momento.

Su reconocimiento se realizará mediante la inversión del tensor momento sísmico regional. Para ello, se utilizarán los sismogramas que contienen información básica sobre dos ámbitos: la fuente sísmica, que se puede describir como un desequilibrio elástico-mecánico asociado con un desplazamiento espontáneo (típicamente en la superficie de una falla), y la estructura interna de la Tierra, por donde se propagan las ondas elásticas, y que actúa como un filtro lineal sobre la forma de la onda. Debido a esta doble influencia, durante la interpretación de

los datos sismológicos es esencial separar en el sismograma las contribuciones de la fuente sísmica y del medio de propagación.

Se abordará esta descomposición de los sismogramas mediante funciones de Green, una solución básica de la ecuación elástica-dinámica en el medio que representa los efectos de propagación, y el tensor momento sísmico, que representa el sistema de fuerzas mecánicas asociado a los procesos en la fuente, y que contiene los parámetros fundamentales de un terremoto: el mecanismo focal, que describe la geometría de la ruptura, y el momento sísmico, que cuantifica el tamaño del terremoto.

Se invertirá el tensor momento regional para terremotos que ocurran cada ámbito, modelando el sismograma completo registrado en estaciones de banda-ancha para periodos entre 20 y 50 segundos. Se usará una aproximación a un medio de capas planas, que permitirá una corrección adecuada sólo para los periodos en los que se realizará la inversión, que corresponden a longitudes de onda grandes con la tendencia a promediar efectos de heterogeneidades laterales. Con el catálogo de los mecanismos focales obtenidos de una forma más robusta mediante la inversión del tensor momento sísmico regional, se podrán reconocer estructuras sísmicamente activas o identificar fallas individuales con potencial sísmico, que ayuden al conocimiento más profundo de la peligrosidad sísmica de la zona de estudio.

b) Fallas sismogénicas que han permanecido silenciosas en el período histórico: Paleosismología

En la península Ibérica las fallas activas son lentas (recurrencias del orden de 10^4 años). Por ello, sólo pocas de éstas se han activado durante el período instrumental. El reconocimiento del resto de fallas sismogénicas requiere otros métodos. La Paleosismología, que incluye la tectónica activa, se aplicará para 1) detectar y 2) caracterizar estas fallas activas y silenciosas. Se realizarán análisis geológicos y geomorfológicos (fotografías aéreas y de satélite y estudios morfométricos basados en MDT) para detectar los indicadores de actividad reciente en las fallas conocidas. El trabajo de campo permitirá contrastar las interpretaciones realizadas. Mediante este método se detectaran las fallas más activas y se obtendrá información de los procesos geológicos más recientes, crucial para la interpretación tectónica. Se llevarán a cabo dataciones radiométricas para obtener una imagen completa de la cronología reciente.

En las fallas reconocidas como más activas se analizará la geología (geomorfología y tectónica) con mayor detalle para comprender los procesos asociados a sus movimientos más recientes y detectar las localizaciones idóneas para un estudio paleosismológico detallado. Se escogerán las áreas donde el escarpe de falla afecte a los depósitos más recientes (Holoceno o Pleistoceno superior). En cada localización se realizará un análisis microtopográfico (levantamiento de mapas y perfiles detallados con intervalos de hasta 20 cm) con estación Total (Leica 1700) que permitirá establecer los procesos geomorfológicos más recientes y seleccionar la ubicación óptima para las trincheras (15-50 de largo y hasta 3 m de profundidad, excavadas con retroexcavadora). Se levantarán perfiles geológicos detallados (escala 1:20) sobre una base fotogramétrica de las paredes obtenida mediante Lasser-Scan. Estos perfiles mostrarán las relaciones entre sedimentación, erosión e impulsos tectónicos. Se seleccionarán muestras para datar (TL, U/Th, ^{14}C , ^{10}Be). Los movimientos de masa provocados por terremotos (p. ej. Alhucemas 2004), su comparación con modelos basados en experimentos y monitoreo, y la datación de sus reactivaciones podrán proporcionar también información paleosísmica.

Este método permitirá detectar el posible comportamiento sísmogénico de cada falla y aportará sus parámetros sísmicos: la magnitud máxima, el tiempo transcurrido desde el último terremoto, la recurrencia media, la geometría de la falla y su tasa de deslizamiento, todos ellos cruciales para la estimación realista de la peligrosidad sísmica.

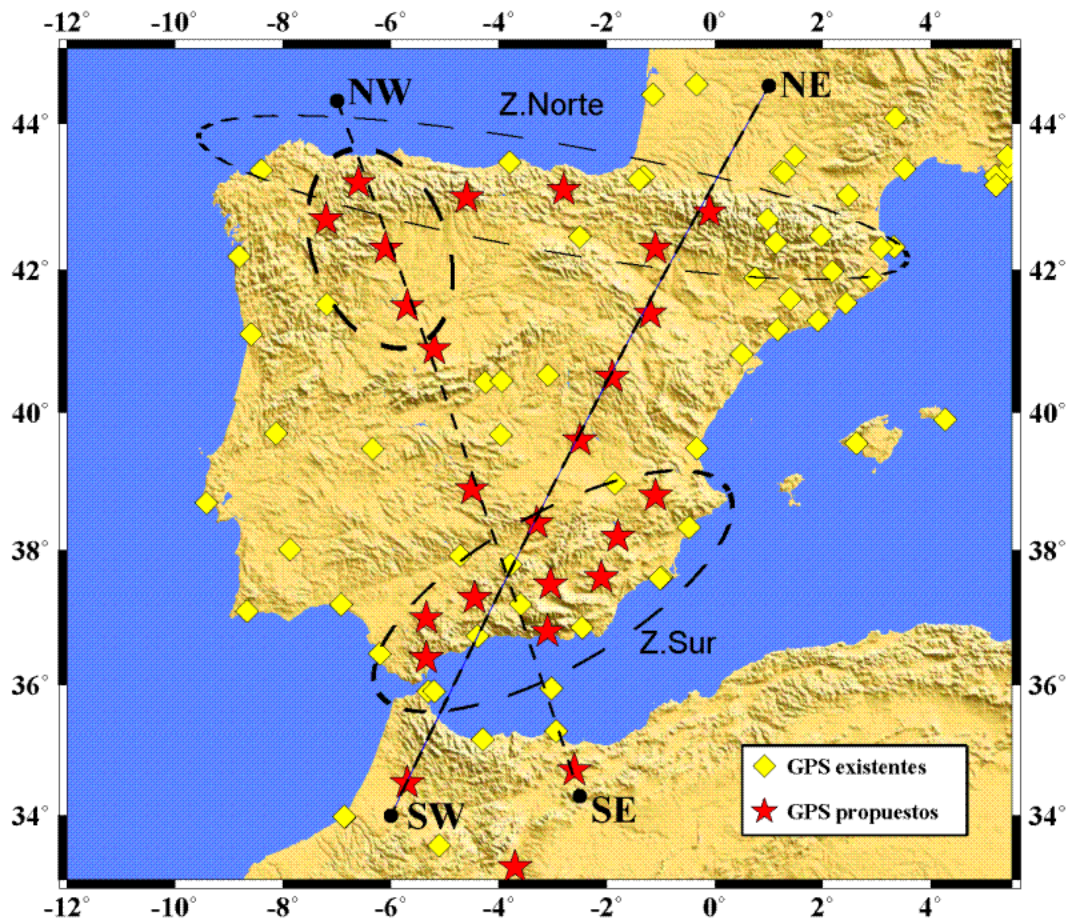
2.5.8. Mediciones de la deformación mediante GPS.

La utilización del GPS como herramienta de medida de las deformaciones del terreno permite la monitorización de áreas tectónicamente activas, y la detección de movimientos relativos, aún en el caso de que sean de pequeña magnitud (por debajo del centímetro por año), como sucede en las zonas activas de la península Ibérica.

La evaluación de tales movimientos permitirá abordar un objetivo fundamental en este proyecto, determinar los valores actuales de los vectores de deformación de la corteza y, consecuentemente, investigar cuáles son las principales fuerzas que producen esas deformaciones. De este modo se podrían identificar áreas en las que una elevada acumulación de presión suponga un aumento del riesgo sísmico para población e infraestructuras civiles.

La detección y cuantificación de tales movimientos lentos requiere un control lo más riguroso posible tanto de la toma de datos como de su análisis. El método de observación más adecuado en este caso es el despliegue de redes de receptores GPS, ubicados de forma quasi-permanente en lugares estratégicos (duración mínima de unos 30 meses en funcionamiento continuado). Los posibles efectos estacionales pueden separarse de los valores reales de los desplazamientos mediante el análisis de los valores diarios de las series temporales recogidas en estas estaciones de larga duración. El análisis de los datos debe efectuarse con un software de alta precisión, como GIPSY-OASIS II, JPL, GAMIT o Bernese. Observaciones de este tipo son las que se llevan a cabo también en el proyecto PBO-EarthScope. (<http://pboweb.unavco.org/>), a lo largo de la zona activa en la que confluyen las placas tectónicas Pacífica y Norteamericana.

Puesto que un objetivo básico de TopoIberia es aportar información de deformaciones no solamente a nivel local/regional, sino sobre la eventual distribución de la deformación a escala de toda la península y entre límites de placas, incluyendo el Norte de África, se propone desplegar desde el principio del proyecto y durante unos 30 meses una red de 25 GPS en funcionamiento continuo, cubriendo emplazamientos estratégicos que, según se muestra en la figura, configuren diversas transectas relevantes, apoyadas por la instrumentación permanente ya existente. En función del análisis de los datos que se obtengan en ese periodo, algunos de los instrumentos se desplazarán para la segunda mitad del proyecto, densificando algunas zonas de interés, cubriendo otras, etc.



Esquema del despliegue previsto de estaciones GPS durante la primera mitad del proyecto

En este tipo de estudios es también muy conveniente plantear la realización de campañas más episódicas, con instrumentación adicional que permita la densificación de las redes semi-permanentes. Hay que tener en cuenta que la detección de los niveles de movimiento esperados en las zonas de estudio requerirá probablemente la repetición de dichas campañas a lo largo de un periodo de tiempo netamente superior a los cinco años del proyecto, si bien este objetivo puede iniciarse aquí y continuarse en el futuro, mediante acciones complementarias, con instrumentación adicional de que pueda disponerse, etc.

También cabe plantearse el uso de técnicas GPS cinemáticas, aplicadas a puntos fijos del terreno, en los que la toma de datos de muestreo se realice a elevadas frecuencias (1 Hz o superior). Ello permite determinar el movimiento real de tales puntos durante la ocurrencia de un evento sísmico, siempre que dicho evento tenga la magnitud suficiente y la distancia epicentral sea apropiada. Puede considerarse entonces que los receptores GPS se usan como sismómetros. El GPS permanente en modo cinemático detecta mejor el movimiento cuanto mayor sea la intensidad del sismo. Precisamente es en ese caso cuando puede producirse la saturación en los sismómetros clásicos, que dejan de discriminar las señales recibidas. Así pues, la utilización complementaria de este tipo de elementos, junto con los sismómetros convencionales puede ser de gran utilidad.

2.5.9. Determinación de velocidades de formación del relieve.

Para la obtención de velocidades de denudación y levantamiento en las áreas emergidas se procederá a la datación de depósitos y superficies geomorfológicas de interés, bien por su

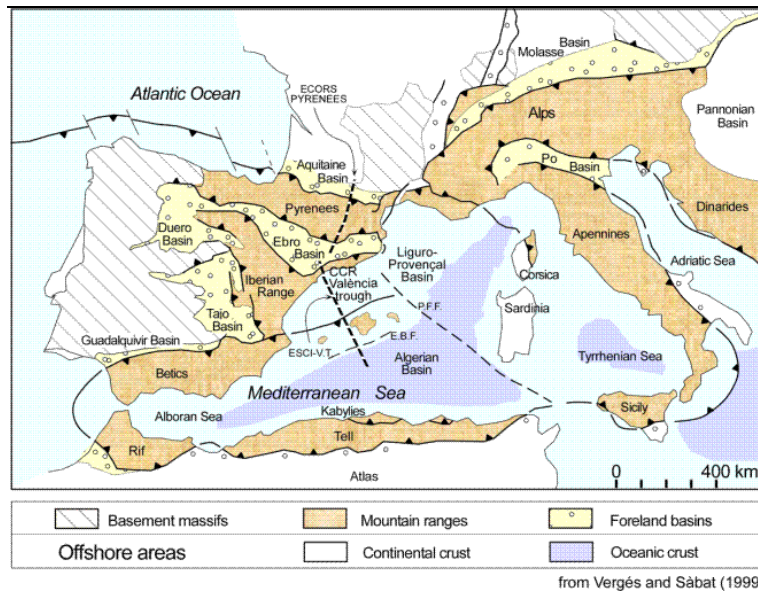
ubicación actual o por la posibilidad de restituirlos de manera relativa y/o absoluta a la posición que ocupaban en el momento de su formación. La distribución de los depósitos marinos someros desde el Mioceno medio a la actualidad, permitirá identificar las pautas regionales y las tasas medias de levantamiento desde el momento de su formación y las variaciones que estos parámetros sufren con el tiempo. Los indicadores precisos de la posición de la antigua línea de costa en el Cuaternario reciente, como depósitos de playa y “trottoirs”, facilitan la identificación y caracterización de estructuras activas.

Tienen especial interés las calcretas (incluidas o no en abanicos aluviales), las terrazas fluviales y los travertinos colgados sobre la red de drenaje actual. La datación de estos niveles, todos de carácter carbonatado, proporcionará velocidades de encajamiento de la red de drenaje durante el Cuaternario. Los métodos a emplear para las dataciones cuaternarias serán núclidos cosmogénicos in situ (^{10}Be), series de desequilibrio de U/Th, luminiscencia y ^{14}C . Además, se analizarán los isótopos estables de C y O para determinar las condiciones paleoclimáticas.

El muestreo para las dataciones se planificará adecuadamente para complementar los datos ya disponibles en la bibliografía y para obtener una adecuada representatividad en función de los objetivos perseguidos. Por lo tanto, la principal campaña de muestreo se realizará al final del primer año o inicios del segundo, una vez que se hayan reconocido convenientemente las características y los emplazamientos de los niveles susceptibles de ser datados.

2.6. Programa de Investigación detallado por Ámbitos de aplicación

La actividad investigadora multidisciplinar que se propone se dedicará a profundizar en el conocimiento de los procesos y mecanismos (superficiales y profundos) que actúan en el segmento más occidental del sistema orogénico Alpino-Mediterráneo, analizando de forma integrada sus caracteres geológicos y geofísicos actuales y su evolución en los últimos 30 Ma; todo ello para determinar la influencia que las fases de tectónica extensional y contractiva Miocenas, así como la tectónica reciente o activa, han tenido en la deformación, estructura cortical y morfología que presentan actualmente los orógenos peninsulares, sus márgenes y cuencas marinas adyacentes. Además, se pretende establecer la relación existente entre la estructura de la corteza y morfología superficial con la arquitectura profunda y procesos activos de la litosfera subcortical.



Mapa tectónico de las cadenas de montañas y cuencas de antepaís que rodean el Mediterráneo occidental. La microplaca de Iberia se sitúa entre el Mediterráneo y el Atlántico.

Según se ha indicado, se plantea utilizar una notable variedad de técnicas específicas, de carácter pluridisciplinar y a diversas escalas, que incluyen métodos geofísicos para determinar la estructura de la corteza y de la litosfera profunda, técnicas analíticas en estudios tectónicos y geomorfológicos para caracterizar la evolución geológica reciente, y métodos sismológicos y geodésicos para determinar deformaciones y movimientos actuales. Todo esto participado con las tecnologías punteras que se describen para la adquisición de datos del conjunto del Proyecto.

En cuanto a finalidades para aplicabilidad a intereses nacionales de los resultados esperables, estas investigaciones propician un incremento en la infraestructura geológica y geofísica en Cordilleras y cuencas de aguas territoriales españolas. En su caso, pueden ser aplicadas a actuaciones dirigidas a prevenir y diseñar planes de contingencia para riesgos geológicos y también medioambientales, especialmente en aquellas zonas en que se producen considerables terremotos y numerosos deslizamientos del terreno relacionados con el desarrollo actual del relieve y la elevación de márgenes continentales. Su aplicación en el ámbito marino afecta a diversas áreas con importante tráfico marítimo, turístico y comercial, y vías de paso obligado para mercancías peligrosas. También, es posible la transferencia de nuestros resultados al sector industrial, especialmente en cuanto a la potencialidad en hidrocarburos en determinadas cuencas, que han sido y son actualmente sujeto de exploraciones comerciales por compañías petroleras nacionales y extranjeras.

2.6.1. Ámbito Sur: Cordillera Bético-Rifeña

Motivación

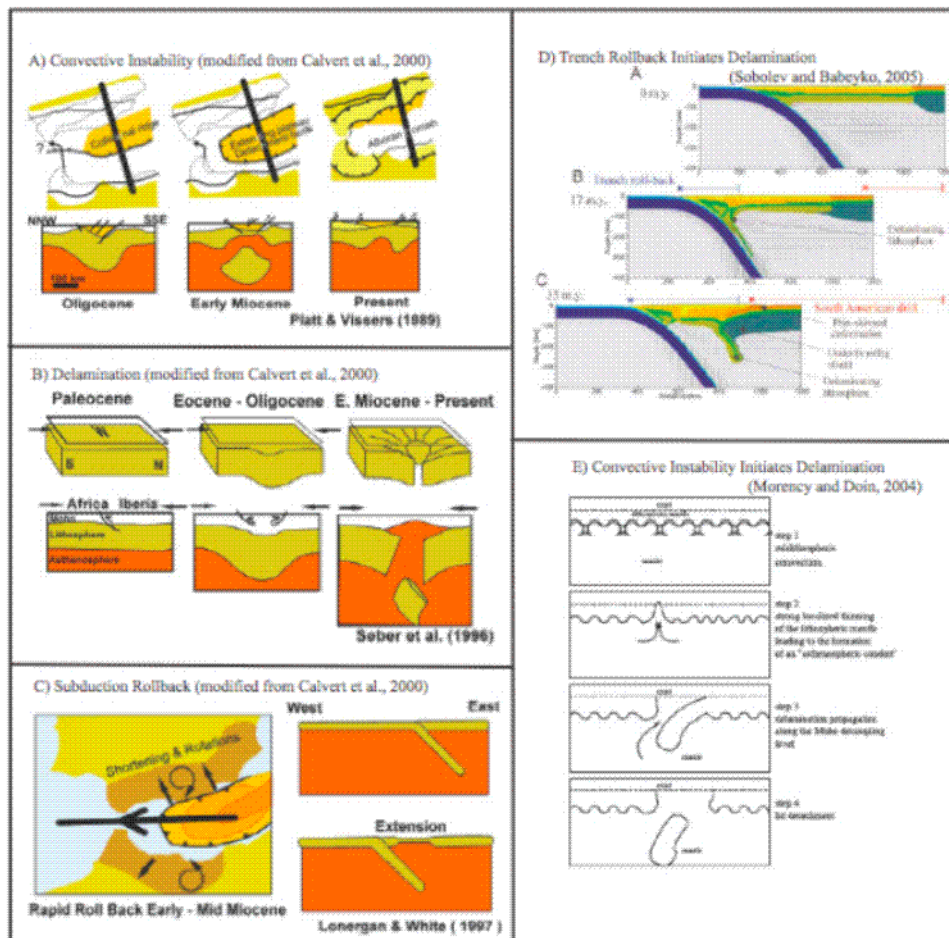
Este ámbito geodinámico incluye el orógeno Bético-Rifeño, el prisma de acreción del Golfo de Cádiz, y las cuencas y márgenes de los mares de Alborán y Argelino-Balear occidental, que jalonando el límite de las placas litosféricas de Eurasia y África, ha evolucionado conjuntamente desde hace 30 Ma (Neógeno a Presente) regido por un mismo proceso geodinámico: la compleja evolución de una litosfera subcontinental bajo un régimen cinemático de convergencia oblicua de las placas. El conocimiento de los procesos litosféricos que han tenido lugar en esta región es indispensable para caracterizar la peligrosidad geológica de la misma, afectada por intensa actividad sísmica y numerosos deslizamientos relacionados con el desarrollo actual del relieve.

En general, los modelos propuestos para explicar el reciclaje de la litosfera se basan en la subducción localizada en márgenes activos. No obstante, otros procesos como la delaminación o la convección del manto pueden tener una gran importancia en el reciclaje de la litosfera en algunas cordilleras. El Mediterráneo occidental en general y en especial el sistema formado por la Cordillera Bético-Rifeña y la Cuenca de Alborán y el Atlas, constituye una de las regiones en las que la importancia de estos procesos puede ser estudiada en detalle.

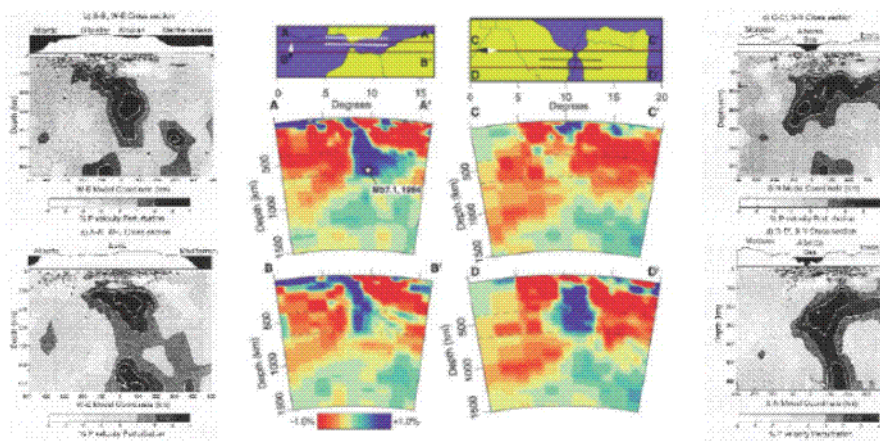
Este escenario geodinámico, puede considerarse como uno de los pocos laboratorios naturales del mundo en el cual se pueden estudiar procesos complejos en dinámica de la litosfera y su relación con la formación del relieve, evolución de la línea de costas, y cambio climático, ya que es una región que está afectada por sustanciales movimientos verticales diferenciales (elevación en las cordilleras y subsidencia en márgenes y cuencas) desde hace 10 millones de años. Al respecto, es significativo que este ámbito haya sido seleccionado, dentro de la iniciativa TopoEurope-EuroArray, para ejecutar el proyecto piloto PICASSO (*Program to Investigate Convective Alboran Sea System Overturn*) apoyado por el ILP (*Internacional Lithospheric Program*) (<http://www.ija.csic.es/gt/rc/HTLM/indexPICASSO.html>). También cabe destacar que los procesos activos litosféricos que afectan este sistema geodinámico parecen prolongarse al sur de la Cordillera Rifeña, hasta latitudes bastante meridionales, por lo que la actividad investigadora correspondiente al ámbito "SUR" de este Proyecto se prolongará en algunos casos hasta el Atlas, para abordar objetivos específicos al respecto.

Por lo que respecta al Arco de Gibraltar, está formado por dos zonas, ligeramente engrosadas y en compresión, situadas en el margen sur de Iberia (Cordillera Bética) y el margen norte de Marruecos (Cordillera del Rif). La parte interior del arco corresponde a una zona adelgazada y en extensión (Cuenca de Alborán) bajo la cual se localiza un manto anómalo. La parte exterior del arco se caracteriza por la presencia de sendas cuencas de antepaís (Guadalquivir-Béticas, Rharb-Rif) y por un conjunto de elementos estructurales que configuran el prisma de acreción del Golfo de Cádiz. Un aspecto sumamente importante y peculiar de esta zona es el cambio súbito de esfuerzos que opera entre 24 Ma y 8 Ma. Durante este periodo, tiene lugar un rápido y espectacular desplazamiento de las estructuras en dirección E-W que se superpone al campo regional de esfuerzos de dirección NNW-SSE asociado a la convergencia entre África e Iberia. La mayor parte de actividad E-W cesa en el Tortonense Superior aunque algunos autores sugieren su continuidad hasta la actualidad. Para explicar esta configuración, se han propuesto diversos tipos de modelos basados, respectivamente, en procesos de subducción, de desgajamiento de una losa, de delaminación, y de eliminación de la raíz cortical por convección en el manto. Estos modelos en boga para explicar el origen y desarrollo del sistema consideran evoluciones distintas de la litosfera: la remoción (colapso

extensional) o destrucción por convección de una raíz litosférica densa y fría, la subducción de una corteza oceánica Atlántica, o la delaminación asimétrica de una litosfera continental. Así pues, unos modelos están relacionados con la Tectónica de Placas, mientras que otros son el resultado de la evolución de una cordillera previamente engrosada.



La estructura litosférica actual resultante es hoy día objeto de debate. A este respecto, el problema científico principal estriba en demostrar con datos fehacientes cual es el "motor geodinámico" que promueve la evolución durante el Neógeno y Cuaternario, hasta llegar a su configuración actual, y establecer qué procesos pueden intervenir en el reciclado de una litosfera continental, previamente engrosada, en el manto convectivo. En la última década han proliferado experimentos analógicos y modelizaciones numéricas que indican que dichos procesos pueden ocurrir bajo una gran variedad de condiciones sin que hasta el momento se haya llegado a resultados conclusivos. Asimismo, los modelos tomográficos existentes para este ámbito (distribución de velocidades sísmicas en profundidad), son susceptibles de una interpretación dual.



A pesar de que los datos existentes hasta ahora son insuficientes para discriminar entre los distintos modelos, hay evidencias que en conjunto apoyan que en la arquitectura de la litosfera de la región influyen de una manera significativa los procesos de delaminación y convección mantélica, tanto en lo que se refiere al reciclaje de la litosfera como a la formación del relieve actual. Estas evidencias se pueden resumir en los siguientes puntos:

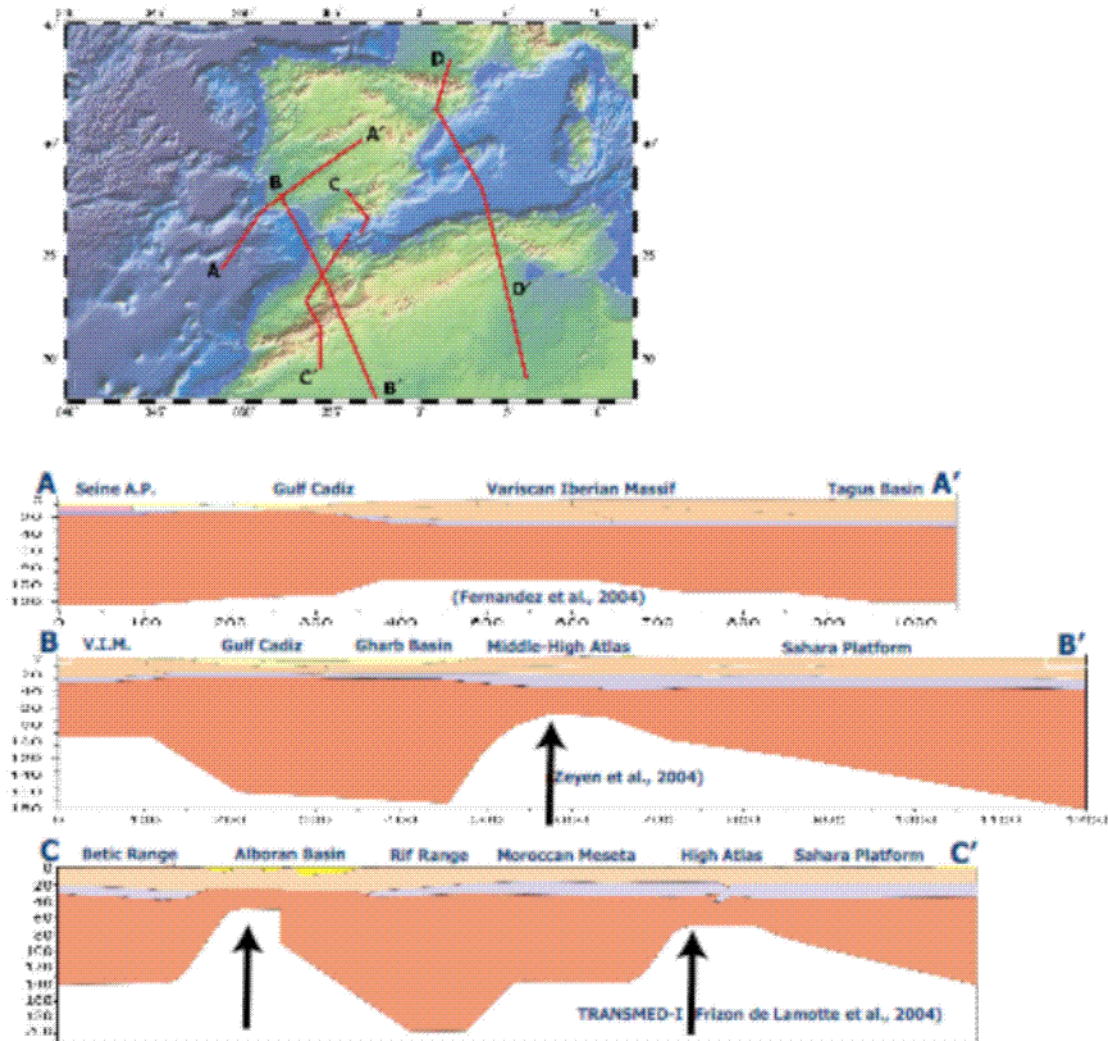
- la actividad sísmica se extiende desde la base de la corteza hasta la zona de transición litosfera/astenosfera.
- la tomografía sísmica ha puesto de manifiesto la existencia de una losa de litosfera despegada de la Cordillera Bético-Rifeña y la Cuenca de Alborán por debajo de los 300 km de profundidad.
- la observación de velocidades sísmicas bajas en la base de la corteza de una gran parte de la región, indican un ascenso de la astenosfera, que reemplazaría a la litosfera delaminada, lo que da lugar, a su vez a un volcanismo basáltico asociado a la fusión en descompresión del manto astenosférico ascendente.

Trabajos previos, muchos de ellos participados por integrantes del Equipo, indican que tanto la corteza como el manto litosférico muestran un importante adelgazamiento desde las zonas emergidas (en el Arco de Gibraltar) y hacia la Cuenca de Alborán, a través de sus márgenes, y también hacia el este de esta cuenca cuando limita con la corteza oceánica de la Cuenca Argelino-Balear. No obstante, el carácter del adelgazamiento varía sensiblemente entre diferentes segmentos del margen Sud Ibérico. Los datos indican que la estructura actual de la corteza y manto litosférico, y sus variaciones laterales, condicionan enormemente el relieve y morfología de los márgenes del Mar de Alborán donde, a grandes rasgos, se observa una gran coincidencia entre las zonas de adelgazamiento abrupto y la presencia de plataformas estrechas con taludes prominentes. De forma similar, la existencia de volcanismo reciente y el levantamiento de los márgenes durante el Plio-Cuaternario, diferente según los segmentos, parecen estar íntimamente relacionados con anomalías litosféricas.

Por otro lado, los resultados de experimentos tomográficos y de modelos numéricos integrados indican un importante engrosamiento litosférico que afecta la zona central y occidental de las Béticas y se extiende hacia el sur del Golfo de Cádiz y cuenca del Rharb. En conjunto, se evidencia una fuerte partición o diferenciación entre la deformación cortical y la que afecta al manto litosférico, poniendo de relieve un fuerte desacoplamiento corteza-manto. Es de destacar que el Golfo de Cádiz representa la continuación del sistema Bético-Rifeño en el Atlántico extendiéndose, en sentido amplio, hasta las llanuras abisales donde el límite de placas deja de ser difuso. El Golfo de Cádiz concentra una fuerte actividad sísmica con terremotos superficiales e intermedios (60-120 km profundidad) y ha sido objeto en tiempo

reciente de importantes eventos de riesgo geológico (deslizamientos submarinos, tsunamis, etc.).

Las cordilleras del Atlas pueden entenderse como la manifestación más meridional del límite difuso de placas Iberia-África. Un marcado adelgazamiento litosférico ha sido también descrito bajo esas cordilleras, aunque en este caso no parece ligado a una corteza sobreengrosada sino a la dinámica convectiva del manto, de forma más o menos independiente de la Tectónica de Placas. En el levantamiento del Atlas y de las mesetas adyacentes han contribuido a los procesos de acortamiento cortical y de ascenso del manto profundo, aunque la cronología relativa de cada proceso está todavía poco conocida.



Transectas litosféricas a través y a lo largo de la región de transición entre el Mediterráneo y el Atlántico. Estos modelos geofísicos integran un gran número de datos regionales.

El conocimiento actual de la estructura de la litosfera es muy desigual en el sistema Cordillera Bético-Rifeña/Cuenca de Alborán. Los experimentos de sísmica de refracción realizados desde la década de 1970, junto con los datos gravimétricos y magnéticos disponibles, sólo determinan los rasgos principales relativos a la variación de los espesores corticales y a algunas estructuras de tamaño regional. En la década de 1990, los perfiles ESCI contribuyeron a mejorar el conocimiento de las estructuras corticales en la zona oriental de las Cordilleras Béticas y de la Cuenca de Alborán. Los datos geofísicos disponibles son netamente insuficientes para determinar la estructura litosférica de esta región.

En relación con la velocidad de exhumación de las cadenas, se dispone de información cuantitativa basada en datos de huellas de fisión en apatito y circón, mayoritariamente centrada en el estudio de las últimas etapas del colapso extensional del orógeno. Por otra parte, son pocos los estudios que se han interesado por establecer una relación entre la geometría actual de la litosfera, la localización de estructuras activas y formación del relieve actual. A este respecto, es necesario investigar el papel de las anomalías térmicas en la localización de la deformación reciente. Paralelamente, es necesario evaluar el volumen total de sedimentos acumulados durante el Neógeno y Cuaternario procedentes de la edificación del orógeno Bético-Rifeño, los posibles paleoambientes y su cronología, y establecer las relaciones tectónico-sedimentarias para compatibilizar las tasas de erosión/sedimentación con las reconstrucciones paleogeográficas y tectónicas.

Objetivos previstos y Tareas a realizar

Los objetivos de investigación planteados aquí se fundamentan en un bagaje importante de hipótesis, resultados y datos existentes, buena parte de ellos obtenidos por estudios previos de los solicitantes, que propician ahora un panorama atractivo para realizar investigaciones geológicas y geofísicas integradas y conseguir un salto cualitativo en el avance de conocimientos científicos al respecto.

Como objetivos específicos y Tareas correspondientes pueden mencionarse:

- Establecer la estructura de la litosfera del sur de Iberia y norte de África, y localizar las estructuras activas en relación con este límite de placas mediante análisis integrados de datos geológicos y geofísicos de zonas continentales y marinas.
- Determinar la continuación de las unidades estructurales del sistema Bético-Rifeño en el Golfo de Cádiz, así como la naturaleza de la corteza y localización del límite continental-oceánico en los márgenes Atlánticos del sur de Iberia y norte de Marruecos y en las cuencas de Alboran-Argelia.
- Evaluar el papel relativo de los procesos corticales y mantélicos en la configuración del relieve.
- Elaborar un mapa con los indicadores cinemáticos en el que se señalen los patrones de reparto de la deformación y su evolución espacio temporal (Mioceno medio a la actualidad) que permitan ensayar distintas modelizaciones (numérica y analógica) con el objeto de reproducir el modo de formación del Arco de Gibraltar en sus distintos segmentos.
- Cuantificar los procesos de levantamiento y subsidencia en las cordilleras Bético-Rifeñas, Atlas, Cuenca de Alborán y Golfo de Cádiz mediante el establecimiento de las historias termales a partir de los datos de huellas de fisión en apatito y circón y teniendo en cuenta las restricciones impuestas por otros geocronómetros (U-Th/He; ³⁹Ar-⁴⁰Ar, U-Pb).
- Estudiar la evolución cuaternaria del relieve en la Cordillera Bético-Rifeña y del Atlas a partir del cálculo de diversos índices geomorfológicos, de tasas de incisión de la red de drenaje y del fondo marino del mar de Alborán a partir de las vías de transferencia de sedimentos.
- Establecer las relaciones entre la evolución del relieve y los cambios climáticos del sur de la Península Ibérica y del norte de Marruecos desde el Mioceno medio a la actualidad.

- Relacionar las estructuras activas con la sismicidad instrumental mediante la localización de focos sísmicos e inversión del tensor momento, con la sismicidad histórica y con la paleosismicidad con el fin de obtener los parámetros sísmicos de las mismas.
- Analizar la evolución del relieve asociado al movimiento de masas provocado por la actividad sísmica.
- Datar las superficies cuaternarias y cálculo de tasas de denudación mediante isótopos cosmogénicos in situ.
- Determinar el campo de velocidades actuales de desplazamiento mediante técnicas de GPS para conocer las características de la deformación actual a escala regional en las cordilleras Béticas, Rif y Atlas, y establecer las zonas con mayor intensidad de movimientos tectónicos actuales y la relación con la evolución del relieve.
- Aportar datos para evaluar la peligrosidad geológica (terremotos tsunamis y deslizamientos) de la región en relación con las estructuras tectónicamente activas (despegues, fallas y pliegues).

2.6.2. Ámbito Centro: Sistema Central y Cadena Ibérica

Motivación

El ámbito geodinámico central del microcontinente Ibérico incluye las regiones deformadas del interior de la placa como el Sistema Central y Cadena Ibérica y sus cuencas sedimentarias asociadas. Esta deformación, ocurrida principalmente en el Neógeno, muestra un grado de deformación muy intenso, mayor que el de otras zonas de antepaís alpino (Europa occidental).

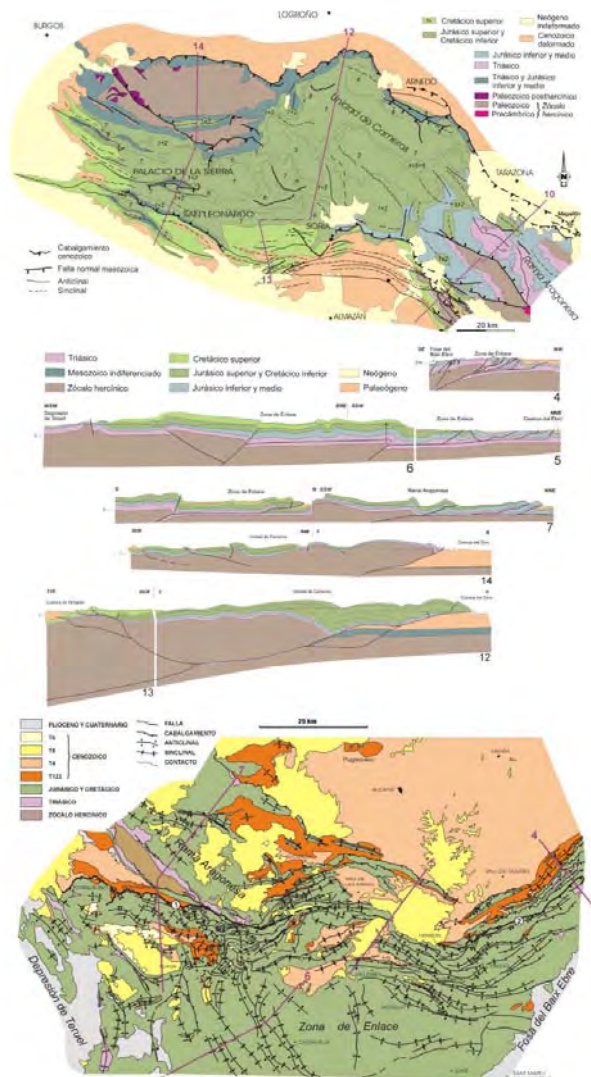
Las deformaciones cenozoicas se nuclearon, en el sector oriental (Cadena Ibérica), sobre una corteza extendida en la etapa tectónica inmediatamente anterior (Rift Mesozoico) mientras que fueron lo suficientemente intensas como para deformar una región no extendida fuertemente durante el Mesozoico como es el Sistema Central. Sin embargo, la deformación intraplaca abarca una extensa región en la que las diferentes unidades tectónicas se han acortado mediante estilos característicos de acuerdo a la configuración regional (dirección de las cuencas extensivas mesozoicas previas) y a la secuencia estratigráfica (muy sensible a la existencia de Triásico evaporítico que juega el papel de nivel de despegue). La Sierra de Altomira y la conexión Ibérica-Béticas constituyen sistemas periféricos de las grandes cadenas. Asimismo, el borde oeste de la cuenca del Duero, constituido por basamento hercínico también se deformó y levantó durante el Oligoceno cerrando la cuenca sedimentaria hacia el Atlántico y creando una cuenca endorreica.

Estas deformaciones intraplaca convergen en una edad de la deformación Oligoceno-Mioceno. La edad de esta deformación es posterior a la pirenaica y se ha relacionado con la propagación de los esfuerzos desde los límites de placas (Pirineos y Béticas) hacia el interior. En este sentido, se ha relacionado el levantamiento del Sistema Central y la posición de las dos cuencas sedimentarias del Tajo y Duero como formado por un gran anticlinorio entre dos sinclinorios a nivel litosférico.

Una característica de gran relevancia para el programa Topo-Iberia es que la altitud media de la región central de la Península Ibérica es probablemente la mayor de todo el continente

europeo, sin que exista un modelo explicativo adecuado sobre el mecanismo que mantiene actualmente esa elevación. La topografía del interior peninsular presenta una marcada regularidad, que ha sido interpretada en términos de pliegues litosféricos y de la corteza, mecánicamente desacoplados. Se observa asimismo una reología distinta entre el Este y el Centro-Oeste.

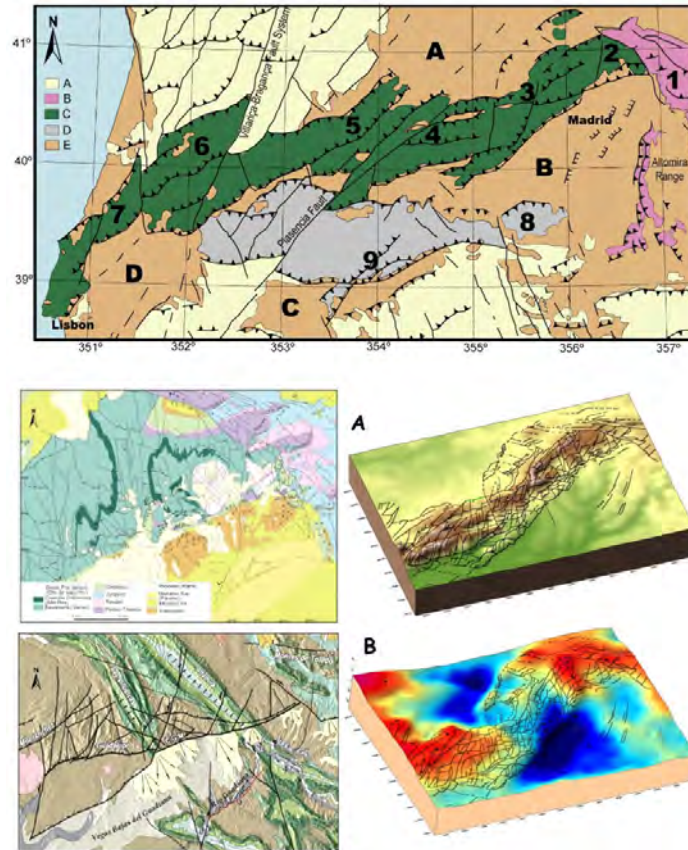
Exceptuando las cuencas del sector levantino, ligadas a la extensión del Surco de Valencia, los contactos cuenca-cadena del interior del microcontinente ibérico son cabalgamientos, con saltos verticales acumulados durante el Terciario de más de 5000 m en algunos casos. Junto a esta intensa deformación contractiva, aparecen también importantes corredores de fallas de desgarre con el desarrollo de espectaculares estructuras transpresivas y cuencas sedimentarias asociadas.



Mapas y cortes geológicos a través de los dos grandes segmentos de la Cadena Ibérica.

La deformación poco intensa de los sistemas plegados y fallados del interior de la placa Ibérica junto a la buena datación de los rellenos sedimentarios de las cuencas terciarias han permitido estudios muy detallados de los paleoesfuerzos durante el Neógeno. La determinación de dichos esfuerzos durante los últimos millones de años, manteniéndose relativamente constantes en la dirección NW-SE a NNW-SSE, permite una comparación con los resultados de paleosismicidad durante el Cuaternario y con los resultados de la sismicidad histórica e instrumental. En el Sistema Central hay claras evidencias de actividad

paleosísmica, y los análisis paleotermocronométricos junto con la modelización de dichos datos confirman una actividad (levantamiento) muy intensa desde el Mioceno Superior – Plioceno, sólo superada en Iberia por la Cadena Bética. La inclusión de estos datos en modelos numéricos de “thin sheet” permite definir las zonas deformables, su velocidad de deformación y el mejor ajuste con la posición de los límites de la placa en el sur de la Península Ibérica (límite de placa difuso).



Mapa tectónico del Sistema Central junto a los mapas detallados de la topografía digital y gravimetría.

Esta información morfotectónica y paleosísmica se puede integrar con la información disponible a nivel de la corteza para dilucidar los posibles mecanismos de deformación que ocurrieron durante el Terciario y los que están ocurriendo en la actualidad. Esta información crustal puede resumirse a partir de modelos numéricos combinando geode y gravimetría, topografía tal como se está realizando actualmente en la transición Mediterráneo-Atlántico.

Así pues, el interior peninsular abunda en la idea de la Península Ibérica como un Laboratorio Natural donde estudiar las interacciones entre las fuerzas tectónicas, su transmisión desde los bordes de placa, los procesos de erosión y sedimentación y su expresión topográfica final. La información geofísica de que se dispone en esta región sobre sus propiedades y arquitectura interna es sensiblemente menor que en otros ámbitos peninsulares, por lo que los estudios integrados geofísicos y geodésicos que se plantean en este programa serán fundamentales para poder elaborar modelos evolutivos consistentes de deformaciones intraplaca. Este dominio ejerce un interés creciente en grupos internacionales para efectuar estudios pluridisciplinarios y ha sido considerado prioritario en el programa Topo-Europe/EuroArray.

Objetivos previstos y Tareas a realizar

Los objetivos planteados se fundamentan en el gran conocimiento existente de la geología y evolución de la región central de Iberia y en base también al menor conocimiento de la estructura cortical y litosférica que en las Béticas y Pirineos. El estudio de esta estructura profunda permitiría combinarla con la geología y presentar un esquema integrado atractivo que mejoraría el conocimiento profundo de la parte central de la Península Ibérica.

Como objetivos específicos y Tareas correspondientes pueden mencionarse:

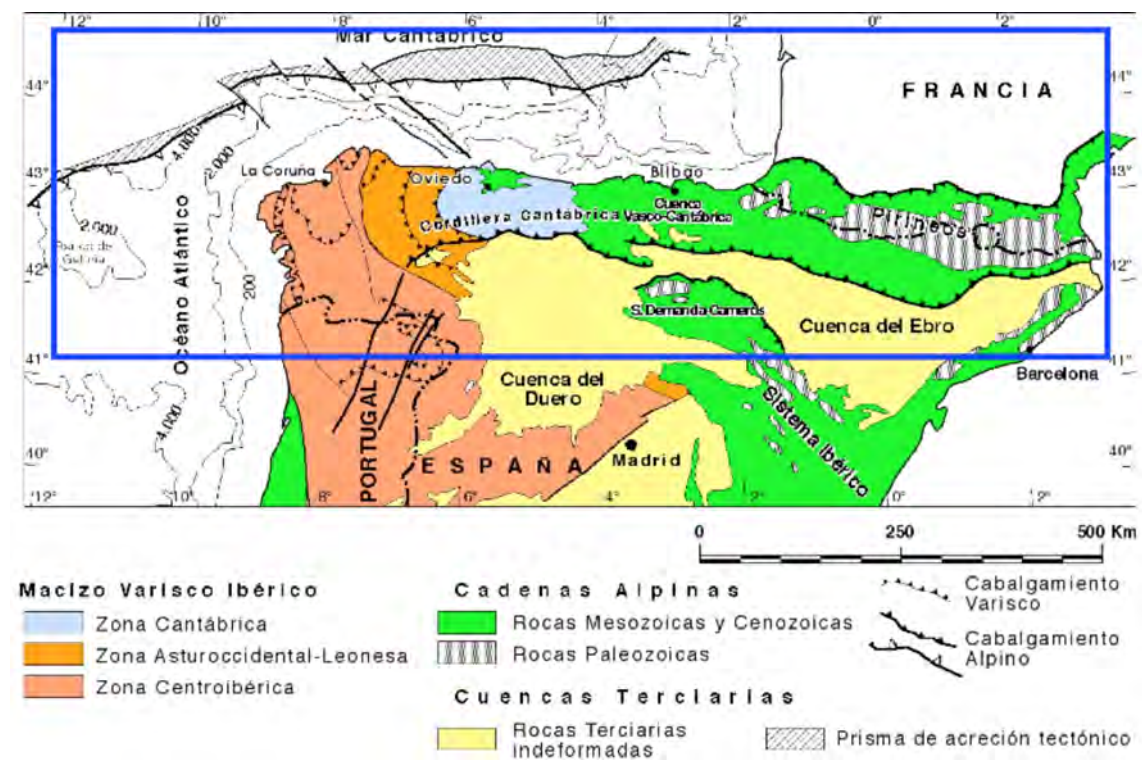
- El establecimiento de una red permanente de GPS en el centro peninsular distribuida en la Cuenca del Duero, en la Cuenca del Tajo, y en el Sistema Central permitiría situar un punto de referencia “cuasi-estable” respecto a las cadenas situadas en los bordes de la Península. Esta red se englobaría dentro de una red más global de determinación a nivel de la Península Ibérica
- Determinar las velocidades de deformación horizontal de los sistemas tectónicos activos del centro de la Península Ibérica a partir de una red de GPS. Estos datos se integran con los datos de actividad geotectónica y de variaciones en la red hidrográfica.
- Impulsar el estudio de la estructura de la corteza en áreas seleccionadas del ámbito mediante sísmica de reflexión profunda. Para la ejecución de esta tarea se requerirá financiación complementaria (Proyectos específicos de PN, de Comunidades autónomas, etc.).
- Determinar la estructura cortical del Sistema Central mediante sondeos magnetotelúricos a lo largo de perfiles coincidentes con los sísmicos, con lo que se dispondría de un control mutuo e independiente de la estructura interna.
- Determinar la estructura profunda mediante perfiles magnetotelúricos a través de la Cordillera Ibérica en una transecta NE-SW coincidente con un perfil de refracción ya existente.
- Determinar la estructura cortical a diferentes escalas mediante la realización de mapas de anomalías de Bouguer, mapas de anomalía residual isostática y perfiles gravimétricos.
- Determinar la evolución vertical (levantamiento y erosión) a lo largo del perfil escogido para la sísmica de reflexión mediante un análisis de trazas de fisión en apatitos y zircones, especialmente a través de las grandes fallas que separan diferentes unidades tectónicas.
- Estudio de la geometría de las cuencas de antepaís del Tajo y Duero para obtener información sobre volumen de sedimentos y realizar estimaciones sobre velocidades de sedimentación. Estos cálculos ya han sido realizados en las cuencas del Ebro y Guadalquivir.
- Cálculos de erosión a partir de la reconstrucción de la topografía en terrenos deformados y en cuencas sedimentarias. Relaciones entre grosor cortical, relieve topográfico y erosión.
- Análisis de la red fluvial en cadenas de montañas y cuencas sedimentarias, con el estudio de la distribución de las incisiones fluviales y su relación con elementos morfoestructurales, detección de anomalías en su trazado, cuantificación de valores de incisión y pendientes y determinaciones cronológicas de etapas de incisión y sedimentos asociados. La incisión fluvial en diferentes puntos del sector central de la Península Ibérica permitirá reconstruir la evolución del levantamiento y erosión.

- Determinación de paleotemperaturas a partir de medidas de la reflectancia de la Vitrinita, de las inclusiones fluidas y de la cristalinidad de la Illita.
- Dataciones absolutas de la Mica asociada a facies metamorfismo de bajo grado.
- Datación de las superficies cuaternarias y cálculo de tasas de denudación mediante isótopos cosmogénicos in situ, con especial atención a los valles encajados en la salida de las cuencas sedimentarias de los grandes ríos Tajo y Duero.
- Determinar la evolución del sistema de cuencas del Sector Central mediante modelización numérica. Este tipo de análisis ha aportado un gran conocimiento para constreñir la evolución pasada en los últimos 25 millones de años en la cuenca del Ebro y para predecir evoluciones futuras de la erosión y capturas fluviales como en el caso de potenciales repositorios radiactivos subterráneos.
- Establecimiento de un modelo sismotectónico del centro de la Península Ibérica como base para la evaluación de la peligrosidad sísmica de la región. Su relación con la paleosismicidad de la zona permitirá reconocer cambios en la dirección de los esfuerzos tectónicos.

2.6.3. Ámbito Norte: Cordillera Pirenaico-Cantábrica y margen Cantábrico

Motivación

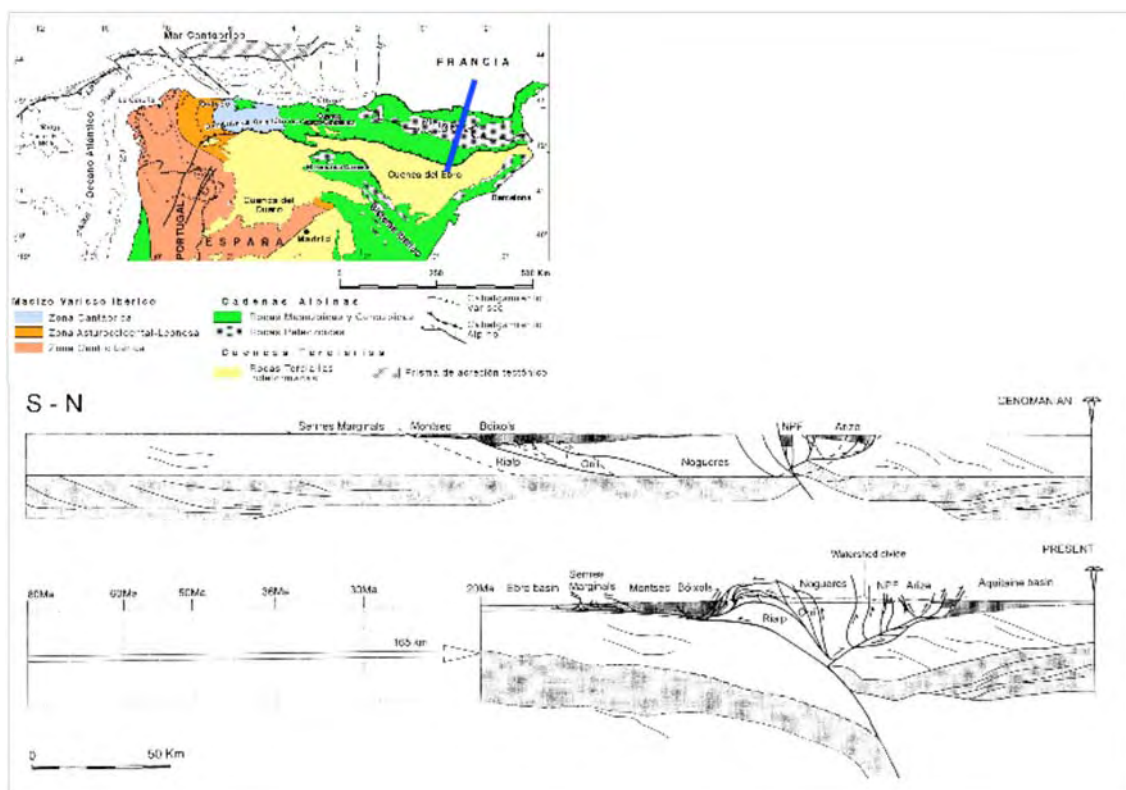
Este ámbito de actuación incluye los Pirineos y su prolongación hacia el oeste por la Cordillera Cantábrica y el margen continental Noribérico, lo que constituye un mismo ámbito geodinámico ligado a la interacción entre las placas Ibérica y Europea. Los relieves pirenaico-cantábricos se conectan hacia el sur con la terminación norte de la Cordillera Ibérica y terminan gradualmente hacia el oeste a través de los Montes de León y los suaves relieves del macizo galaico. Estas transiciones también se incluirán en este ámbito de actuación que incluiría, por tanto, la zona recuadrada en la figura.



La cordillera Pirenaico-Cantábrica es un orógeno colisional de doble vergencia formado como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea desde el final del Cretácico al Mioceno Inferior, implicando un acortamiento que varía entre 90 y 165 km, aproximadamente, y ha dado lugar un importante engrosamiento cortical.

Los bordes norte y sur de la cadena montañosa vienen marcados por varias cuencas de antepaís muy bien preservadas, que han recogido todos los flujos de sedimentos provenientes de los procesos erosivos ligados al levantamiento de la cadena. En el flanco sur, se sitúan las cuencas del Ebro y del Duero, donde se conservan potentes secuencias sedimentarias sinorogénicas de hasta 5 km de potencia, en su mayor parte de tipo continental. En el flanco norte de los Pirineos se sitúa la cuenca de Aquitania donde se acumula una espesa sucesión de más de 5 km de sedimentos paleógenos, mayoritariamente continentales. Por el contrario, al norte de la Cordillera donde también se acumula una importante secuencia sinorogénica cenozoica en este caso constituida por sedimentos marinos.

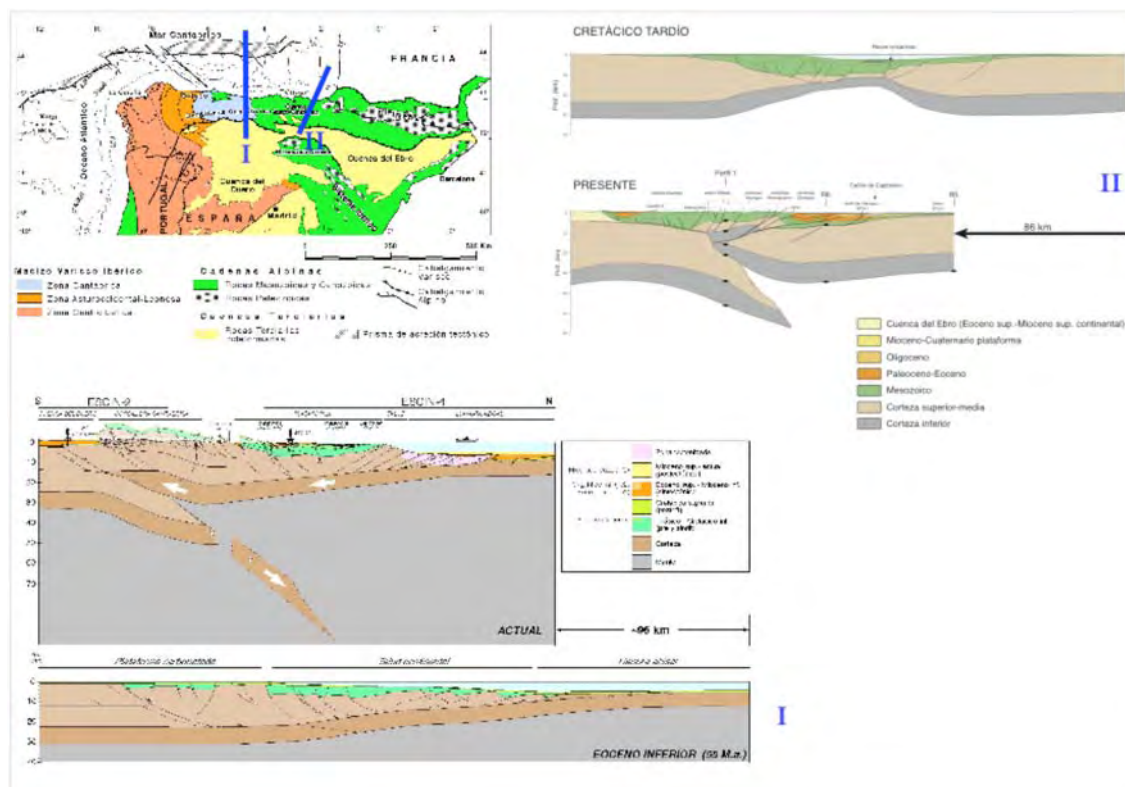
Esta cadena montañosa, que se extiende por más de 1.500 km de longitud, entre los Alpes y el Océano Atlántico, muestra características muy diversas a lo largo de todo su trazado. En la parte oriental, al edificio orogénico contractivo se superpone una tectónica extensional Neógena relacionada con la apertura del Golfo de León y la deriva del bloque Corso-Sardo. La cordillera pirenaica principal, situada entre Francia y España, representa un orógeno continental colisional desarrollado sobre una corteza continental adelgazada, sin intervención de corteza oceánica entre las dos placas.



Corte geológico cortical compensado y su restauración realizada a través del perfil ECORS. Tomado de Beaumont et al. (2000)

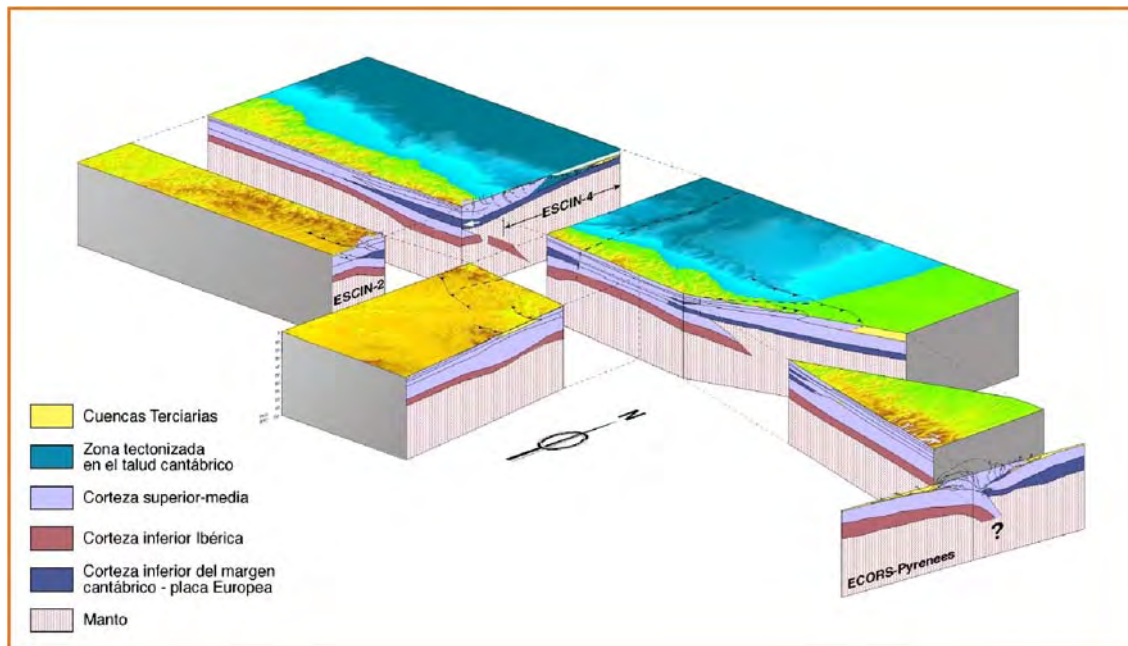
Más al O, la tectónica pirenaica afecta al margen continental Noribérico de tal manera que la Cordillera Cantábrica, que es la prolongación occidental del Pirineo, representa una cadena montañosa costera que involucra la corteza continental muy adelgazada y la corteza oceánica

del Golfo de Vizcaya. Aunque una parte de la corteza del Golfo de Vizcaya ha sufrido subducción limitada (underthrustig) bajo el margen, la mayor parte de la deformación se ha concentrado sobre la corteza continental previamente adelgazada del margen Noribérico. (Ver figuras)



Transectas corticales a través de la cordillera y margen cantábricos (I) y de la Cuenca Vasco-Cantábrica (II). Tomadas de Gallastegui (2000) y Pedreira (2004).

Los perfiles de sísmica de reflexión profunda ECORS y ESCIN y otros perfiles de sísmica de reflexión vertical y de gran ángulo adquiridos en la última década, junto con otro tipo de datos geofísicos, indican que la estructura cortical de este orógeno está caracterizada por la subducción hacia el norte de la corteza continental media e inferior de Iberia, inducida por la indentación de la corteza Europea en niveles de corteza media o superior ibérica. La expresión superficial es la formación de una cuña orogénica de doble vergencia con una anchura de entre 150 y 200 km. La estructura cortical 3D de la cordillera se ilustra en el bloque diagrama que se muestran a continuación.



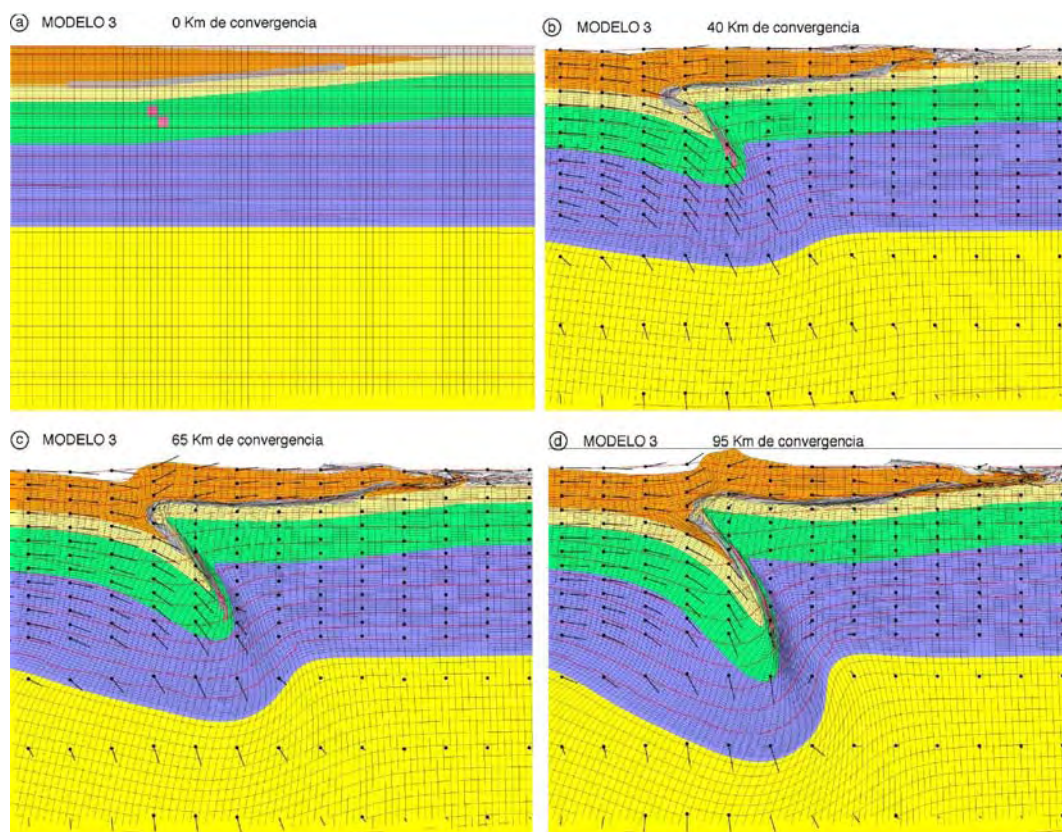
Esquema tridimensional de la estructura cortical de la transición de los Pirineos a la Cordillera Cantábrica. Tomada de Pedreira (2004)

A pesar de que la estructura cortical profunda es bastante similar a lo largo de toda la cadena, la estructuración a nivel de corteza superior -y su reflejo en los relieves actuales- muestra importantes variaciones laterales que parecen relacionarse con la diferente geometría original de las cuencas sedimentarias mesozoicas -cuencas intracontinentales, al E, y una cuenca oceánica, al O- pero cuyo exacto significado dista aún de estar claro.

La dimensión de esta cordillera, la moderada magnitud de los acortamientos, la calidad de los afloramientos, la buena preservación de los sedimentos sinorogénicos y el relativamente buen conocimiento de la estructura litosférica hacen de esta cordillera un magnífico laboratorio natural para investigar los procesos orogénicos y las fuerzas tectónicas implicadas en la generación de un relieve intracontinental y de una cordillera costera. En efecto, esta cordillera contiene un registro muy completo de los procesos tectónicos implicados en el desarrollo del relieve orogénico desde las etapas iniciales hasta el estado de decaimiento final actual, y para el estudio de los procesos de acreción cortical, erosión y sedimentación que han tenido lugar a lo largo del ciclo alpino.

Actualmente, se dispone de un buen conocimiento geológico general de la zona y de resultados geofísicos recientes sobre la estructura interna, que muestran enormes variaciones de espesor cortical a lo largo del margen nor-ibérico, tanto en sentido N-S como E-O, con el consiguiente reflejo topográfico superficial. No obstante, estos datos son todavía insuficientes para establecer un modelo preciso de la relación entre los procesos de deformación a escala litosférica y la generación de uno de los relieves más importantes de la Península Ibérica. El levantamiento de la topografía pirenaico-cantábrica ha comportado procesos de transferencia de masa muy importantes a través de la erosión progresiva de los relieves que se iban generando, el encajamiento de profundas redes de drenaje y la sedimentación en las cuencas de antepaís que bordean la cordillera. Aunque ya se han realizado algunos estudios en esta línea, referidos principalmente al Pirineo central, que incluyen cuantificaciones de velocidades de erosión y sedimentación con dataciones termocronológicas y modelización numérica, se necesitan nuevos datos para tener modelos finales sólidamente constreñidos. El conocimiento completo del ciclo levantamiento-erosión-sedimentación es esencial para conocer la evolución del relieve, pero también para una mejor comprensión de las cuencas

sedimentarias que son reservorios de importantes recursos naturales, o para comprender y mitigar los riesgos geológicos que pueden afectar a la zona, que van desde la sismicidad a los deslizamientos de ladera o inundaciones fluviales. El ámbito Pirenaico-Cantábrico ha ejercido siempre un fuerte atractivo sobre numerosos investigadores y escuelas científicas internacionales, y se ha considerado también prioritario en la iniciativa europea en curso EuroArray.



Modelización termomecánica preliminar de la transecta cantábrica. Tomada de Pedreira (2004).

Objetivos específicos y Tareas a realizar

El objetivo general de la propuesta de trabajo que se presenta en este ámbito geográfico es la caracterización general del relieve Pirenaico-Cantábrico, estableciendo las relaciones entre los procesos profundos que han tenido lugar durante la convergencia alpina y los relieves a que han dado lugar. Ello requiere la consideración de las relaciones entre los diferentes estilos de deformación presentes y la influencia de factores tales como heterogeneidades corticales heredadas, valor de la convergencia, procesos superficiales o consecuencias combinadas entre estos factores.

Los objetivos científicos planteados y las tareas a realizar para su consecución son:

- Caracterización de la estructura de la litosfera del Norte de la Península Ibérica y su margen continental y localización las principales estructuras activas en relación con este paleolímite de placas, utilizando los datos geofísicos existentes y los nuevos que se obtendrán.
- Establecimiento de un modelo de evolución tectónica y su relación con las características del relieve pirenaico-cantábrico, incluyendo el margen continental, mediante análisis

integrados de datos geológicos y geofísicos de zonas continentales y marinas, para lo que se realizarán diversas cortes geológicos compensados a través de toda la cordillera y margen continental

- Elaboración varias transectas corticales que muestren las características de la deformación y su evolución espacio temporal (Mesozoico a la actualidad) y permitan ensayar distintas modelizaciones numéricas con el objeto de reproducir el modo de formación de la Cordillera Pirenaico-Cantábrica y el margen continental Noribérico en sus distintos segmentos.
- Estudio de la estructura de las cuencas de antepaís para obtener información sobre volumen de sedimentos y realizar estimaciones sobre velocidades de sedimentación
- Estudio de la terminación occidental de la Cordillera Pirenaico-Cantábrica y su transición hacia los suaves relieves del macizo galaico y N de Portugal.
- Estudio de la transición entre los relieves pirenaico-cantábricos y la Cordillera Ibérica y el Sistema Central y su conexión con la estructura profunda.
- Determinación de los procesos geológicos que han condicionado la formación de cuencas sedimentarias en el margen continental desde las etapas alpinas hasta la actualidad.
- Caracterización de la transición entre la corteza oceánica y continental en el fondo del Golfo de Vizcaya.
- Definición de los elementos morfoestructurales que tienen expresión en el fondo marino actual del Golfo de Vizcaya, con especial atención a los fuertes relieves asociados a los cañones submarinos existentes en la zona, y su relación con las estructuras profundas
- Datación de la actividad tectónica en fallas, cabalgamientos u otras estructuras mayores mediante estudio de las relaciones entre las estructuras y los sedimentos sinorogénicos para obtener información de las edades y velocidades de acreción tectónica
- Cuantificación de los procesos de levantamiento y subsidencia en la cordillera Pirenaico-Cantábrica mediante el establecimiento de las historias termales a partir de los datos de huellas de fisión en apatito y circón y teniendo en cuenta las restricciones impuestas por otros geocronómetros (U-Th/He; ^{39}Ar - ^{40}Ar , U-Pb).
- Caracterización de la evolución cuaternaria del relieve en la Cordillera Pirenaico-Cantábrica a partir del cálculo de diversos índices geomorfológicos, de tasas de incisión de la red de drenaje y de la morfología fondo marino del mar Cantábrico a partir de las vías de transferencia de sedimentos.
- Análisis de la red fluvial cantábrico-atlántica, con el estudio de la distribución de las incisiones fluviales y su relación con elementos morfoestructurales, detección de anomalías en su trazado, cuantificación de valores de incisión y pendientes y determinaciones cronológicas de etapas de incisión y sedimentos asociados.
- Modelización geológica tridimensional de estructuras geológicas significativas, mediante integración de datos de superficie y subsuelo, para la obtención de modelos tectónicos representativos utilizando aplicaciones avanzadas de modelización geológica como Geosec 3D y 3D Move.
- Establecimiento de las relaciones entre la evolución del relieve pirenaico-cantábrico y los cambios climáticos ocurridos desde el Paleógeno hasta la actualidad .

- Establecimiento de un modelo sismotectónico que relacione las estructuras activas con la sismicidad instrumental, con la sismicidad histórica y con la paleosismicidad con el fin de obtener los parámetros sísmicos de las mismas.
- Estudio de las superficies de erosión del Pirineo Oriental y su relación con la tectónica extensional Neógena
- Datación de las superficies cuaternarias y cálculo de tasas de denudación mediante isótopos cosmogénicos in situ, con especial atención a las rasas costeras cantábricas
- Determinación del campo de velocidades actuales de desplazamiento mediante técnicas de GPS para conocer las características de la deformación actual a escala regional en las Cordillera Pirenaico-Cantábrica, macizo galaico y meseta del Duero y establecer las zonas con mayor intensidad de movimientos tectónicos actuales y la relación con la evolución del relieve.
- Integración de estos datos en un modelo evolutivo para los distintos sectores de la cordillera Pirenaico-Cantábrica y el margen continental Cantábrico que puedan ser utilizados como base de comparación con las predicciones de los modelos numéricos que se pretenden realizar.
- Análisis del papel relativo de los procesos profundos (corticales y mantélicos) y los procesos superficiales en la configuración del relieve.
- Establecimiento de un modelo sismotectónico del norte de la Península Ibérica como base la evaluación de la peligrosidad sísmica de la región.

Por otra parte, la investigación de los procesos superficiales y su relación con la actividad tectónica tiene y tendrá en el futuro un énfasis fundamental en los datos georeferenciados. Los sistemas de información geográfica (GIS) ofrecen a los investigadores la posibilidad de organizar y manipular bases de datos georeferenciados de grandes dimensiones, de formas nuevas y poderosas. Por ello, en todas las tareas a realizar se utilizará como base de datos fundamental una “geodatabase” GIS que, además de servir como herramienta de organización de variados grupos de información en grandes cantidades, permite realizar análisis y cálculos que relacionen diversas variables y por tanto sirve como un medio de testar los modelos geológicos y como un motor para el desarrollo de nuevas ideas.

2.6.4. Bibliografía seleccionada

- Abellán, A ; J.M. Vilaplana, J. Martínez., in press. Terrestrial laser scanner application in rockfall hazard assessment (Vall de Núria, Eastern Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*.
- Alonso, J. L., Pulgar, J. A., García-Ramos, J. C. y Barba, P. (1996): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). In: *Tertiary basins of Spain: The Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P. F. Friend y C. J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge: 214-227.
- Álvarez-Marrón, J., Pérez-Estaún, A., Dañobeitia, J. J., Pulgar, J., Martínez Catalán, J. R., Marcos, A., Bastida, F., Ayarza Arribas, P., Aller, J., Gallart, J., González Lodeiro, F., Banda, E., Comas, M. C., Córdoba, D. (1996): Seismic structure of the northern continental margin of Spain from ESCIN deep seismic profiles. *Tectonophysics*, pp. 355-363.
- Álvarez-Marrón, J., Rubio, E., Torné, M. (1997c): Subduction-related structures in the North Iberian Margin. *J. Geophys. Res.*, 102, B10, pp. 22497-22511.
- Andeweg, B., G. De Vicente Muñoz, S. Cloething, and J. M. M. Giner, A., 1999, Local stress fields and intraplate deformation of Iberia: variations in spatial and temporal interplay of regional stress sources: *Tectonophysics*, v. 305, p. 153-164.
- Babault, J.; Van Den Driessche, J.; Bonnet, S.; Castellort, S.; Crave, A., 2005. Origin of the highly elevated Pyrenean peneplain. *Tectonics*, 24 (2):
- Banda, E., and J. Ansoorge, 1980, Crustal structure under the central and eastern part of the Betic Cordillera, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 63, 515-532.
- Barruol, G., Souriau, A., Vauchez, A., Diaz, J., Gallart, J., Tubia, J., Cuevas, J. (1998): Lithospheric anisotropy beneath the Pyrenees from shear wave splitting. *Journal of Geophysical Research*, 103 (B12) pp. 30039-30054.
- Beaumont, C., Fullsack, P., Hamilton, J. (1992): Erosional control of active compressional orogens. In: *Thrust Tectonics* (K.R. McClay, Ed.), Chapman & Hall, London, pp. 1-18.
- Beaumont, C; Kamp, P. J. J; Hamilton, J. y Fullsack, P (1996), The continental collision zone, South Island, New Zealand: Comparison of geodynamical models and observations. *J. Geophys. Res.*, 101 (B2): 3333-3359
- Beaumont, C., J. A. Muñoz, J. Hamilton, and P. Fullsack, 2000, Factors controlling the Alpine evolution of the central Pyrenees inferred from a comparison of observations and geodynamical models: *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 8121-8145.
- Beaumont, C., Jamieson, R. A., Nguyen, M. H. y Lee, B. (2001): Himalayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation. *Nature*. 414: 738-742.
- Bijwaard, H. and W. Spakman, 1998, Closing the gap between regional and global travel time tomography, *Journal of Geophysical Research*, 103, 30555-30078.
- Bijwaard, H. and W. Spakman, 2000, Non-linear global P-wave tomography by iterated linearized inversion, *Geophys. J. Int.*, 141, 71-82.
- Billen, M. I. and G. A. Houseman, 2004, Lithospheric instability in obliquely convergent margins: San Gabriel Mountains, southern California, *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-13.
- Bird, P. (1988): Formation of the Rocky Mountains, western United States: A continuum computer model. *Science*, 238: 1501-1507.
- Boillot, G., Dupleube, P. A., Malod, J. (1979): Subduction and tectonics on the continental margin of Northern Spain". *Mar. Geol.*, 32, pp. 53-70.
- Boillot, G., Malod, J. (1988): The north and northwest Spanish continental margin: a review. *Rev. Soc. Geol. España*, 1 (3-4), pp. 295-316.
- Bois, C., Gariel, O., Lefort, J. P., Rolet, J., Brunet, M. F., Masse, P. y Olivet, J. L. (1997b): Geologic contribution of the Bay of Biscay deep seismic survey: a summary of the main scientific results, a discussion of the open questions and suggestions for further investigation. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 171: 193-209
- Bommer, J.J., Rodríguez, CE, 2002. Earthquake-induced landslides in Central America. *Engineering Geology* 63, 189-220
- Bostock, M.G., S. Rondenay, and D.S. Shragge, Multiparameter two-dimensional version of scattered teleseismic body waves, 1. Theory for oblique incidence, *J. Geophys. Res.*, 106, 30771-30782, 2001.
- Brey G. P. and T. Kohler, 1990, Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers, *Journ. Petrol.* 31, 1353-1378.
- Brocard, G.Y., van der Beek, P.A., Bourlès, D.L., Siame, L.L. Mugnier, J.-L., 2003. Long-term fluvial incision rates and postglacial river relaxation time in the French Western Alps from ¹⁰Be dating of alluvial terraces with assessment of inheritance, soil development and wind ablation effects. *Earth and Planetary Science Letters* 209, 197-214.
- Brown, R.L., Beaumont, C. y Willett, S. (1993): Comparison of the Selkirk fan structure with mechanical models: implications for a thin-skinned interpretation of the southern Canadian Cordillera, *Geology*, 21: 1015-1018.
- Bufo, E., M. Bezzeghoud, A. Udias and C. Pro, 2004, Seismic Sources on the Iberia- African Plate Boundary and their Tectonic Implications, *Pure and Applied Geophysics*, 161, 623-646.
- Burbank, D.W., C. Puigdefàbregas, J.A. Muñoz (1992a): The chronology of the Eocene tectonic and stratigraphic development of the eastern Pyrenean Foreland Basin, NE Spain, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104, pp. 1101-1120.
- Burbank, D.W., Vergés, J., Muñoz, J.A., Bentham, P. (1992b): Coeval hindward and forward-imbrication thrusting in the central southern Pyrenees, Spain: Timing and rates of shortening and deposition, *Geological Society of America Bulletin* 104, pp. 3-17.

- Cabal, J. (1993): *Régimen térmico en el noroeste de la Península Ibérica y sus márgenes continentales: flujo de calor y estructura térmica de la litosfera*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 186 pp.
- Cabrera, L., Ferrús, B., Sáez, A., Santanach, P., Bacelar, J. (1996): Onshore Cenozoic strike-slip basins in NW Spain. In: *Tertiary basins of Spain: The Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P. F. Friend y C. J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge: 247-254.
- Cámara, P. (1997): The Basque-Cantabrian basin's Mesozoic tectono-sedimentary evolution. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 171: 187-191
- Cámara, P., Klimowitz, J. (1985): Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica. *Estudios Geol.*, 41, pp. 39-404.
- Calais, E., Mattioli, G., DeMets, C., Nocquet, J. M., Stein, S., Newman, A., and Rydelek, P., 2005, Tectonic strain in plate interiors?: *Nature*, v. 438, no. 7070, p. E9-E10.
- Calvert, A., E. Sandvol, D. Seber, M. Barazangi, S. Roecker, T. Mourabit, F. Vidal, G. Alguacil and N. Jabour, 2000, Geodynamic evolution of the lithosphere and upper mantle beneath the Alboran region of the western Mediterranean: Constraints from travel time tomography, *Journal of Geophysical Research*, 105, 10871-10898.
- Carbonell, R., F. Simancas, C. Juhlin, J. Pous, A. Perez-Estaun, F. Gonzalez-Loderio, G. Munoz, W. Heise and P. Ayarza, 2004, Geophysical evidence of a mantle derived intrusion in SW Iberia, *Geophysical Research letters*, 31, 1-4.
- Casas Sainz, A. M., and C. Faccenna, 2001, Tertiary compressional deformation of the Iberian plate: *Terra Nova*, v. 13, p. 281-288.
- Cavazza, W., F. Roure, W. Spakman, G. M. Stampfli, P. A. Ziegler and the TRANSMED Project Working Groups, 2004, The TRANSMED Atlas: geological-geophysical fabric of the Mediterranean region – Final report of the project, *Episodes*, 27, 245-254.
- Chery, J., Vilotte, J. P. y Daignières, M. (1991): Thermomechanical evolution of a thinned continental lithosphere under compression: implications for the Pyrenees. *J. Geophys. Res.*, 96 (B3): 4385-4412.
- Choukroune, P., Ecors Team (1989): The ECORS Pyrenean deep seismic profile reflection data and the overall structure of an orogenic belt. *Tectonics*, 8 (1), pp. 23-39.
- Cloetingh, S., P. A. Ziegler, F. Beekman, P. A. M. Andriessen, L. Matenco, G. Bada, D. García-Castellanos, N. Hardebol, P. Dèzes, and D. Sokoutis, 2005, Lithospheric memory, state of stress and rheology: neotectonic controls on Europe's intraplate continental topography: *Quaternary Science Reviews*, v. 24, p. 241-304.
- Cockburn, H.A.P., Summerfield, M.A., 2004. Geomorphological applications of cosmogenic isotope analysis. *Progress in Physical Geography* 28, (1), 1-42.
- Comas, M. C., J. P. Platt, J. I. Soto and A. B. Watts, 1999, 44. The origin and Tectonic History of the Alboran Basin: Insights from Leg 161 Results, *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, 161, 555-580.
- Daignières, M., Cabissole, B. De, Gallart, J., Hirn, A., Suriñach, E., Torné, M. (1989): Geophysical constraints on deep structure along the ECORS Pyrenees line. *Tectonics*, 8 (5), pp. 1051-1058.
- de Jonge, M. R., M. J. R. Wortel, W. Spakman, 1994, Regional scale tectonic evolution and the seismic velocity structure of the lithosphere and upper mantle: The Mediterranean region, *Journal of Geophysical Research*, 99, 12091-12108.
- Derégnacourt, D., Boillot, G. (1982): Structure géologique du Golfe de Gascogne. *Bull. Bur. Rech. Geol. Min. Fr.*, 2 (1), pp. 149-178.
- Dewey, J. F., M. L. Helman, E. Truco, D. H. W. Hutton, and S. D. Knott, 1989, Kinematics of the Western Mediterranean, in M. P. Coward, D. Dietrich, and R. G. Park, eds., *Alpine Tectonics*: Geological Society Special Publication Classics: London, The Geological Society, p. 265-283.
- Díaz, J., A. Hirn, J. Gallart and B. Abalos, 1996, Upper-mantle anisotropy in SW Iberia from long-range seismic profiles and teleseismic shear-wave data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 95, 153-166.
- Díaz, J., Gallart, J., Hirn, A. and Paulssen, H., 1998. Anisotropy beneath the Iberian Peninsula: the contribution of the ILIHANARS broad-band experiment. *Pageoph* 151, 395-405.
- Díaz, J., Gallart, J., Pedreira, D., Pulgar, J.A., Ruiz, M., López, C., González-Cortina, J.M., 2003. Teleseismic imaging of alpine crustal underthrusting beneath N Iberia. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 30, NO. 11, 1554, doi:10.1029/2003GL017073.
- Díaz, J., Gallart, J., Ruiz, M., Pulgar, J.A López-Fernández, C. and González-Cortina, J.M., 2006. Probing seismic anisotropy in North Iberia from shear wave splitting.. Accepted in *Phys. Earth Planet. Int.*
- Dixon, T. H., 1991, An introduction to the Global Positioning System and some geological applications: *Reviews of Geophysics*, v. 29, no. 2, p. 249-76.
- Dragert, H., Wang, K., and James, T., 2001, A silent slip event on the deeper Cascadia subduction interface: *Science*, v. 292, no. 5521, p. 1525-1528.
- Duggen, S., K. Hoernle, P. van den Bogaard and C. Harris, 2004, Magmatic evolution of the Alboran region: The role of subduction in forming the western Mediterranean and causing the Messinian Salinity Crisis, *Earth and Planetary Science Letters*, 218, 91- 108.
- ECORS Pyrenees Team (1988): The ECORS deep seismic survey across the Pyrenees. *Nature*, 311, pp. 508-511.
- Ellis, S., Beaumont, C., Jamieson, R. y Quinlan, G. (1998): Continental collision including a weak zone - the vise model and its application to the Newfoundland Appalachians, *Can. Jour. Earth Sciences*, 35: 1323-1346.
- Engeser, T., Schwenke, W. (1986): Towards a new concept of the tectonogenesis of the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129, pp. 233-242.

- Fernandes, R. M. S., B. A. C. Ambrosius and R. Noomen, L. Bastos, M. J. R. Wotel, W. Spakman and R. Govers, 2003, The relative motion between Africa and Eurasia as derived from ITRF2000 and GPS data, *Geophysical Research Letters*, 30, 1-5.
- Fernandez, M., I. Marzan, A. Correia and E. Ramalho, 1998, Heat flow, heat production, and lithospheric thermal regime in the Iberian Peninsula, *Tectonophysics*, 291, 29-53.
- Fernández, M., I. Marzán, and M. Torne, 2004, Lithospheric transition from the Variscan Iberian Massif to the Jurassic oceanic crust of the Central Atlantic: *Tectonophysics*, v. 386, p. 97-115.
- Fernández-Viejo, G., Gallart, J., Pulgar, J.A., Córdoba, D., Dañobeitia, J.J. (1998): Crustal transition between continental and oceanic domains along the North Iberian margin from wide angle seismic and gravity data. *Geophysical Research Letters*, 25 (23), pp. 4249-4252.
- Fernández-Viejo, G., Gallart, J., Pulgar, J.A., Córdoba, D., Dañobeitia, J.J. (2000): Seismic signature of Variscan and Alpine tectonics in NW Iberia: Crustal structure of the Cantabrian Mountains and Duero basin. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B2), pp. 3001-3018.
- Fitzgerald, P. G., Muñoz, J. A., Coney, P. J., and Baldwin, S. L., 1999. Asymmetric exhumation across the Pyrenean orogen: implications for the tectonic evolution of collisional orogens: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 173, p. 157-170.
- Fullsack, P. (1995): An arbitrary Lagrangian-Eulerian formulation for creeping flows and its application in tectonic models. *Geophys. J. Int.* 120: 1-23.
- Gallart, J., Banda, E., Daignières, M. (1981): Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and transition to the North Pyrenean Zone. *Ann. Géophys.*, 37, pp. 457-480.
- Gallart, J., Daignieres, M., Gagnepain-Beyneix, J., Hirn, A. (1985): Relationship between deep structure and seismicity in the Western Pyrenees. *Annales Geophysicae*, 3, 2, pp. 239-248.
- Gallart, J., Fernández-Viejo, G., Díaz, J., Vidal, N., Pulgar, J. A., (1997): Deep structure of the transition between the Cantabrian Mountains and the North Iberian margin from wide-angle ESCI-N data. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (4), pp. 365-382.
- Gallart, J., J. Díaz, A. Nercessian, A. Mauffret, and T. Dos Reis, 2001, The eastern end of the Pyrenees: Seismic features at the transition to the NW Mediterranean: *Geophysical Research Letters*, v. 28, p. 2277-2280.
- Gallastegui, J. (2000): Estructura cortical de la Cordillera y Margen Continental Cantábricos: Perfiles ESCI-N. *Trabajos de Geología*, 22: 9-234.
- García-Castellanos, D., M. Fernandez and M. Torne, 2002, Modeling the evolution of the Guadalquivir foreland basin (southern Spain), *Tectonics*, 21, 1-17.
- García-Castellanos, D., J. Vergés, J. Gaspar-Escribano, and S. Cloetingh, 2003, Interplay between tectonics, climate, and fluvial transport during the Cenozoic evolution of the Ebro Basin (NE Iberia): *Journal of Geophysical Research*, v. 108, B7, 2347, p. 10.1029/2002JB002073.
- Gibbons, W., and T. Moreno, eds., 2002, *The Geology of Spain*, Geological Society, London, 1-649 p.
- Gosse, J.C., Phillips, F.M., 2001. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application, *Quaternary Science Reviews* 20, 1475-1560.
- Grimaud, S., Boillot, G., Collette, B. J., Maffret, Miles, P. R., Roberts, D. B., (1982): Western extension of the Iberian-European plate boundary during the Early Cenozoic (Pyrenean) convergence: A new model. *Marine Geology*, 45, pp. 62-77.
- Gueguen, E., C. Doglioni and M. Fernandez, 1998, On the post-25 Ma geodynamic evolution of the western Mediterranean, *Tectonophysics*, 298, 259-269.
- Guimerà, J., 1984, Paleogene evolution of deformation in north eastern Iberian Peninsula: *Geological Magazine*, v. 121, p. 413-420.
- Guimerà, J., González, A., 1998. El relieve de la Cadena Ibérica como un producto de la compresión alpina. *Geogaceta*, 23:
- Gutscher, M. -A., J. Malod, J.-P. Rehault, I. Contrucci, F. Klingelhoefer, L. Mendes- Victor and W. Spakman, 2002, Evidence for active subduction beneath Gibraltar, *Geology*, 30, 1071-1074.
- Herraiz, M., De Vicente., G., Lindo-Ñaupari, R., Giner, J., Simón, J.I., González-Casado, J.M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascua, M.A., Cicuéndez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, A.L., Ramírez, M., Lucini, M., 2000. The recent (upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, v. 19, 762-786.
- Hetzl, R., Niedermann, S., Tao, M., Kubik, P.W., Ivy-Ochs, S., Gao, B., Strecker, M.R., 2002. Low slip rates and long-term preservation of geomorphic features in Central Asia. *Nature* 417, 428-432.
- Hollenstein, C., Geiger, A., Kahle, H. G., and Veis, G., 2006, CGPS time-series and trajectories of crustal motion along the West Hellenic Arc: *Geophysical Journal International*, v. 164, no. 1, p. 182-191.
- Houseman, G. A., D. P. McKenzie, and P. Molnar, 1981, Convective Instability of a Thickened Boundary Layer and its Relevance for the Thermal Evolution of Continental Convergent Belts, *Journal of Geophysical Research*, 86, 6115-6132.
- Huerta, A., Parés, J.M., Cabrera, L., Ferrús, B., Sáez, A. (1996): Deformación contractiva del marge noroeste ibérica: Implicaciones tectónicas del estudio paleomagnético de la Cuenca de As Pontes (NW de España). *Geogaceta*, 20, pp. 1014-1016.
- Huismans, R. S. y Beaumont, C. (2002): Asymmetric lithospheric extension: the role of frictional-plastic strain softening inferred from numerical experiments. *Geology*, 30, (3): 211-214.
- Huismans, R. S. y Beaumont, C. (2003): Symmetric and asymmetric lithospheric extension: Relative effects of frictional-plastic and viscous strain softening. *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, No. B10, 2496

- ILIHA DSS Group, 1993, A deep seismic sounding investigation of lithospheric heterogeneity and anisotropy beneath the Iberian Peninsula, *Tectonophysics*, 221, 35- 51.
- Itakura Y., Inaba, H., and Sawada, T., 2005.. A debris-flow monitoring devices and methods bibliography. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 971-977..
- Jabaloy, A., J. Galindo-Zaldívar, and F. González-Lodeiro, 2002, Palaeostress evolution of the Iberian Peninsula (Late Carboniferous to present-day): *Tectonophysics*, v. 357, p. 159-186.
- Jimenez-Munt, I., M. Fernandez, M. Torne and P. Bird, 2001, The transition from linear to diffuse plate boundary in the Azores-Gibraltar region: results from a thin-sheet model, *Earth & Planetary Science Letter*, 192, 175–189.
- Juez-Larré, J., and P. A. M. Andriessen, 2002, Post Late Paleozoic tectonism in the southern Catalan Coastal Ranges (NE Spain), assessed by apatite fission-track analysis: *Tectonophysics*, v. 349, p. 113-129.
- Khazaradze, G., and Klotz, J., 2003, Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-Central Andes: *Journal of Geophysical Research*, v. 108 (B6), p. 2289-2306, doi: 10.1029/2002JB001879.
- Lewis, C. J., J. Vergés, and M. Marzo, 2000, High mountains in a zone of extended crust: Insights into the Neogene-Quaternary topographic development of northeastern Iberia: *Tectonics*, v. 19, p. 86-102.
- Loneragan, L. and N. White, 1997, Origin of the Betic-Rif mountain belt, *Tectonics*, 16, 504-522.
- Martinez-Catalan, J.R., Ayarza, P., Pulgar, J.A., Pérez-Estaún, A., Gallart, J., y otros. (1997): Results from the ESCI-N3.3 marine deep seismic profile along Cantabrian continental margin *Revista Sociedad Geológica España* vol. 8 (4), 341-354
- Martinez-Martinez, J. M., J. I. Soto and J. C. Balanya, 1997, Crustal decoupling and intracrustal flow beneath domal exhumed core complexes, Betics (SE Spain), *Terra Nova*, 9, 223–227.
- Martinez-Martinez, J. M. and J. I. Soto, 2002, Orthogonal folding of extensional detachments: Structure and origin of the Sierra Nevada elongated dome (Betics, SE Spain), *Tectonics*, 21, 1-22.
- Martinez-Martinez, J. M., J. I. Soto and J. C. Balanya, 2004, Elongated domes in extended orogens: A mode of mountain uplift in the Betics (southeast Spain), *Geological Society of America Special Paper*, 380, 243-265.
- Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., Hernández-Enrile, J.L., Santanach, P., 2004. The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary. Seismotectonic implications for the Ibero-Magrebien region. *Journal of Geophysical Research*, 109 (B01301), doi: 10.1029/2002JB002359, 1-17.
- McCalpin, J., 1996. *Paleoseismology*, p. -588, Academic Press cop., San Diego.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., and Tealeb, A., 2003, GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions: *Geophysical Journal International*, v. 155, no. 1, p. 126-138.
- Mauffret, A., D. Frizon de Lamotte, S. Lallemand, C. Gorini and A. Maillard, E-W opening of the Algerian Basin (Western Mediterranean), *Terra Nova*, 16, 257-264.
- Maurel, O.; Brunel, M., Monie, P., 2002. Exhumation cénozoïque des massifs du Canigou et de Mont-Louis (Pyénées orientales, France) C. R. *Geoscience*, v. 334, p. 941-948.
- Miyazaki, S., McGuire, J. J., and Segall, P., 2003, A transient subduction zone slip episode in southwest Japan observed by the nationwide GPS array: *Journal of Geophysical Research*, v. 108, no. B2, p. 2087, doi:10.1029/2001JB000456.
- Morales, J., I. Serrano, A. Jabaloy, J. Galindo-Zaldívar, D. Zhao, F. Torcal, F. Vidal and F. Gonzalez-Lodeiro, 1999, Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea, *Geology*, 27, 735-738.
- Muñoz, J. A., 1992, Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced section, in K. R. McClay, ed., *Thrust Tectonics*: London, Chapman and Hall, p. 235-246.
- Muñoz, J. A. (2002): Alpine tectonics I: the Alpine system north of the Betic Cordillera: The Pyrenees. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.), Geological Society, London: 370-385.
- Muñoz Martín, A., and G. De Vicente, 1998, Cuantificación del acortamiento alpino y estructura en profundidad del extremo sur-occidental de la Cordillera Ibérica (Sierras de Altomira y Bascañana): *Revista de la Sociedad Geológica de España*, v. 11, p. 233-252.
- Nocquet, J. M., and Calais, E., 2003, Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001: *Geophysical Journal International*, v. 154, no. 1, p. 72-88.
- Olivet, J.-L. (1996): La cinématique de la plaque Ibérique, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, 20 (1), 131-195.
- Pallás, R., Rodés, Á., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Boursès, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P. (accepted February 2006). The late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: A critical review and new evidence from ¹⁰Be exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*.
- Pantosti, D. and R. S. Yeats, 1993. Paleoseismology of great earthquakes of the late Holocene, *Annali di Geofisica*, XXXVI, 237-257.
- Pantosti, D., 1997. Modern approaches in paleoseismology, in *Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*, edited by D. GIARDINI and S. Balassanian, pp. 147-167, NATO, Dordrecht.
- Pedreira, D. [2004], *Estructura cortical de la zona de transición entre los Pirineos y la Cordillera Cantábrica*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- Pedreira, D., A. Pulgar, J. Gallart, and J. Díaz, 2003, Seismic evidence of Alpine crustal thickening and wedging from the western Pyrenees to the Cantabrian Mountains (north Iberia): *Journal of Geophysical Research*, v. 108, p. doi:10.1029/2001JB001667.
- Pfiffner, O. A., Ellis, S. y Beaumont, C. (2000): Collision tectonics in the Swiss Alps: implications from geodynamic models. *Tectonics*, 19 (6): 1065-1094.

- Pinet B., Montadert L., Mascle A., Cazes M. & Bois C. (1987). – New insights on the structure and formation of sedimentary basins from deep seismic profiling in Western Europe. In: J. Brooks & K.W. Glennie (eds), *Petroleum Geology of North West Europe*. Graham & Trotman, London:11-31.
- Platt, J. P. and R. L. M. Vissers, 1989, Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc, *Geology*, 17, 540-543.
- Platt, J. P., J. I. Soto, M. J. Whitehouse, A. J. Hurford and S. P. Kelly, 1998, Thermal evolution rate of exhumation, and tectonic significance of metamorphic rocks from the floor of the Alboran extensional basin, western Mediterranean, *Tectonics*, 17, 671-689.
- Pous, J., Queralt, P., Marcuello, A. (2001): Magnetotelluric signature of the western Cantabrian Mountains. *Geophys. Res. Letters*, 28 (9): 1795-1798.
- Pulgar, J.A., Gallart, J., Fernandez-Viejo, G., Perez-Estaun, A., Alvarez-Marron, J., ESCIN Group, (1996): Seismic image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the Pyrenean belt from integrated reflection and refraction data. *Tectonophysics*, 264, pp. 1-19.
- Pulgar, J., Pérez-Estaun, A., Gallart, J., Álvarez-Marrón, J., Gallastegui, J., Alonso, J. L., ESCIN Group, (1997): The ESCI-N2 deep seismic reflection profile: a traverse across the Cantabrian Mountains and adjacent Duero basin. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (4), pp. 383-394.
- Pulgar, J. A., Alonso, J. L., Espina, R. G. y Marín, J. A. (1999) La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona Cantábrica. *Trabajos Geol. Univ. Oviedo*, 21: 283-294.
- Pysklywec, R. N., Beaumont, C. y Fullsack, P. (2000): Modeling the behavior of the continental mantle lithosphere during plate convergence, *Geology*, 28 (7): 655-658.
- Pysklywec, R. N., Beaumont, C. y Fullsack, P. (2002): Lithospheric deformation during the early stages of continental collision: numerical experiments and comparison with South Island, New Zealand. *J. Geophys. Res.*, 107 (B7), ETG 3: 1-19.
- Ranalli, G. (1995): *Rheology of the Earth: deformation and flow processes in geophysics and geodynamics*. Allen & Unwin Eds., Boston, 366 pp.
- Rat, P. , (1988): The Basque-Cantabrian Basin between the Iberian and European plates: some facts but still many problems. *Rev. Soc. Geol. España*, 1 (3-4), pp. 327-348.
- Querol, R., 1989, Geología del subsuelo de la Cuenca del Tajo, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 48 pp, 12 planos p.
- Reisberg L., C. –J. Allegre, and J. –M. Luck, 1991, The Re-Os systematics of the Ronda ultramafic complex of southern Spain, *Earth Planet. Sci. Lett.* 105, 196-213.
- Rigo, A., Souriau, A., Dubos, N., Sylvander, M. and Ponsolles, C., 2005. Analysis of the seismicity in the central part of the Pyrenees (France), and tectonic implications. *J. Seismology*. 9, 211-222.
- Roberts, D.G., Kidd, R.B., (1984): Sedimentary and structural pattern on the Iberian continental margin: an alternative view of continental margin sedimentation. *Marine and Petroleum Geology*, 1, pp. 37-48.
- Roure, F., Choukroune, P., Berastegui, X., Muñoz, J. A., Villien, A., Matheron, P., (1989): ECORS deep seismic data and balanced cross-sections: geometric constraints to trace the evolution of the Pyrenees. *Tectonics*, 8 (1), pp. 41-50.
- Rowlands, K.A., Jones, L.D. and Whitworth, M., 2003 Landslide laser scanning: A new look at an old problem. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology* 36 (2), 155 - 157.
- Royden, L.H. , 1993, Evolution of retreating subduction boundaries formed during continental collision, *Tectonics*, 12, 629-638.
- Salas, R., and A. Casas, 1993, Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the Iberian basin: *Tectonophysics*, v. 228, p. 1-23.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A. & Alonso, A., 2001. Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cainozoic inversion (Iberian Chain). In: P.A. Ziegler, W. Cavazza & A.F.H. Robertson & S. Crasquin-Soleau (eds), Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, 186: 145-185.
- Sautkin, A., A. R. Talukder, M. C. Comas, J. I. Soto and A. Alekseev, 2003, Mud volcanoes in the Alboran Sea: evidence from micropaleontological and geophysical Data, *Marine Geology*, 195, 237-261.
- Schettino, A. and C. Scotese, 2002, Global kinematic constraints to the tectonic history of the Mediterranean region and surrounding areas during the Jurassic and Cretaceous, *Journal of the Virtual Explorer*, 8, 145–160.
- Schott, B., D. A. Yuen, H. Schmeling, 2000, The significance of shear heating in continental delamination, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 118, 273-290.
- Seber, D., M. Barazangi, A. Ibenbrahim and A. Demnati, 1996, Geophysical evidence for lithospheric delamination beneath the Alboran Sea and Rif-Betic mountains, *Nature*, 379, 785-790.
- Serrano, I., F. Bohoyo, J. Galindo-Zaldivar, J. Morales and D. Zhao, 2002, Geophysical signatures of a basic-body rock placed in the upper crust of the External Zones of the Betic Cordillera (Southern Spain), *Geophysical Research Letter*, 29, 1-4.
- Serrano, I., D. Zhao, J. Morales and F. Torcal, 2003, Seismic tomography from local crustal earthquakes beneath eastern Rif Mountains of Morocco, *Tectonophysics*, 367, 187-201.
- Sibuet, J. –C., S. P. Srivastava and W. Spakman, 2004, Pyrenean orogeny and plate kinematics, *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-18.
- Simancas, J. F., R. Carbonell, F. G. Lodeiro, A. P. Estaun, C. Juhlin, P. Ayarza, A. Kashubin, A. Azor, D. M. Poyatos, G. R. Almodovar, E. Pascual, R. Saez and I. Exposito, 2003, Crustal structure of the transpressional Variscan orogen of SW Iberia: SW Iberia deep seismic reflection profile (IBERSEIS), *Tectonics*, 22, 1-25.

- Soto, J. I. and J. P. Platt, 1999, Petrological and Structural Evolution of High-Grade Metamorphic Rocks from the Floor of the Alboran Sea Basin, Western Mediterranean, *Journal of Petrology*, 40, 21–60.
- Soto, J. I., J. P. Platt, M. Sanchez-Gomez and J. M. Azanon, 1999, 19. Pressure- Temperature Evolution of the Metamorphic Basement of the Alboran Sea: Thermobarometric and Structural Observations, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 161, 263-279.
- Souriau, A., Pauchet, H., 1998. A new synthesis of Pyrenean seismicity and its tectonic implications. *Tectonophysics*, 290, 221-244.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M., Ponsolles, C., 2001. Sismotectonique des Pyrénées: Principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. France*. 172, n 1, 25-39.
- Spakman, W., and M. J. R. Wortel, 2000, Subduction and Slab Detachment in the Mediterranean-Carpathian Region: *Science*, v. 290, p. 1910-1917 [DOI: 10.1126/science.290.5498.1910].
- Srivastava, S. P., Roest, W. R., Kovacs, L. C., Oakey, G., Levesque, S., Verhoef, J., Macnab, R., (1990): Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184, pp. 229-260.
- Stich, D., C. J. Ammon and J. Morales, 2003, Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Maghreb region, *Journal of Geophysical Research*, 108, 1-20.
- Subarya, C., Chlieh, M., Prawirodirdjo, L., Avouac, J. P., Bock, Y., Sieh, K., Meltzner, A. J., Natawidjaja, D. H., and McCaffrey, R., 2006, Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake: *Nature*, v. 440, no. 7080, p. 46-51.
- Suriñach, E., Mathelot, J. M., Gallart, J., Daignières, M., Hirn, A., (1993): Seismic images and evolution of the Iberian crust in the Pyrenees. *Tectonophysics*, 221, pp. 67-80.
- Talukder, A. R., M. C. Comas and J. I. Soto, 2003, Pliocene to Recent Mud diapirism and related mud volcanoes in the Alboran Sea (Western Mediterranean), *Geological Society, London, Special Publications*, 216, 443-459.
- Teixell, A. (1990): Alpine thrusts at the western termination of the pyrenean Axial Zone. *Bull. Soc. Geol. France*. 6, (8), pp. 241-249.
- Teixell, A., 1998, Crustal structure and orogenic material budget in the west central Pyrenees: *Tectonics*, v. 17, p. 395-406.
- Teixell, A., P. Ayarza, H. Zeyen, M. Fernandez and M. –L. Arboleya, 2005, Effects of mantle upwelling in a compressional setting: the Atlas Mountains of Morocco, *Terra Nova*, 17, 456-461.
- Torne, M., M. Fernandez, M. C. Comas and J. I. Soto, 2000, Lithospheric Structure Beneath the Alboran Basin: Results from 3D Gravity Modeling and Tectonic Relevance, *Journal of Geophysical Research*, 105, 3209-3228.
- Vera, J. A., ed., 2004, Geología de España, SGE-IGME, Madrid, 890 p.
- Vergés J. & García-Senz J.M. (2001). – Mesozoic Evolution and Cenozoic Inversion of the Pyrenean rift. In : P.A. Ziegler, W. Cavazza & A.H.F. Robertson, Eds., *Peri-Tethyan rift/wrench basins and passive margins, Peri-Tethys Memoir* 6, 186, Mus. natl. His. nat., Paris, 187-212.
- Willett, S., C. Beaumont, P. Fullsack (1993): A mechanical model for the tectonics of doubly-vergent compressional orogens, *Geology*, 21, pp. 371-374.
- Willett, S. y Beaumont, C. (1994): Insights into the tectonics of the India-Asia collision from numerical models of mantle subduction. *Nature*, 369: 642-645.
- Williams, G. D., Fisher, M. W. (1984): A balanced section across the Pyrenean orogenic belt. *Tectonics*, 3 (7), pp. 773 -780.
- Vergés, J., and M. Fernández, in press, Mountain Ranges and Basins in the Iberian Peninsula, in D. G. Gee, and R. Stephenson, eds., *European Lithosphere Dynamics*, Geological Society Memoir.
- Vergés, J., M. Fernández, and A. Martínez, 2002, The Pyrenean orogen: pre-, syn-, and post-collisional evolution, in J. G. Rosenbaum, and G. S. Lister, eds., Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen, *Journal of Virtual Explorer*, 8, p. 55-84.
- Vergés, J., H. Millán, E. Roca, J. A. Muñoz, M. Marzo, J. Cirés, T. den Bezemer, R. Zoetemeijer, and S. Cloetingh, 1995, Eastern Pyrenees and related foreland basins: Pre-, syn- and post-collisional crustal-scale cross-sections., in S. Cloetingh, B. Durand, and C. Puigdefàbregas, eds., v. *Marine and Petroleum Geology*, 12, p. 903-916.
- Vissers, R. L. M., J. P. Platt, D. van der Wal, 1995, Late orogenic extension of the Betic Cordillera and the Alboran Domain: A lithospheric view, *Tectonics*, 14, 786-803.
- Wortel, M. J. R. and W. Spakman, 2000, Subduction and Slab Detachment in the Mediterranean-Carpathian Region, *Science*, 290, 1910-1917.
- Yeats, R. S., K. Sieh, and C. R. Allen, 1997. Geology of earthquakes, p. -568, Oxford University Press, New York-Oxford.
- Zappone, A., M. Fernandez, V. Garcia-Duenas and L. Burlini, 2000, Laboratory measurements of seismic P-wave velocities on rocks from the Betic chain (southern Iberian Peninsula), *Tectonophysics*, 317, 259-272.
- Zeck, H.P., 1997, Mantle peridotites outlining the Gibraltar Arc; centrifugal extensional allochthons derived from the earlier Alpine, westward subducted nappe pile, *Tectonophysics*, 281, 195-207.
- Zeyen, H., and M. Fernández, 1994, Integrated lithospheric modeling combining thermal, gravity, and local isostasy analysis: Application to the NE Spanish Geotranssect: *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 18089-18102.
- Zeyen, H., P. Ayarza, M. Fernandez, A. Rimi, 2005, Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz, *Tectonics*, 24, 1-16.
- Ziegler, P. A., 1988, Evolution of the Artic-North Atlantic and the Western Tethys, v. 43: Tulsa, American Association Petroleum Geology Memoir, 43, 1-198, 1-198 p.

2.7. Hitos y resultados esperables

Los hitos fundamentales de *Topo-Iberia* son crear, gestionar y mantener una infraestructura de base de datos geológico/geofísicos con una resolución sin precedentes, así como desarrollar interpretaciones pluridisciplinares integradas y modelos evolutivos que faciliten la comprensión del funcionamiento de la dinámica de la tierra y contribuyan a la mitigación de riesgos geológicos, desarrollo, exploración y explotación de recursos naturales, siendo de uso obligado para el diseño de políticas de uso del suelo y construcción de infraestructuras en nuestro país.

En términos generales este programa pretende proporcionar:

1. Información sobre la estructura, evolución y dinámica de la península Ibérica
2. Nuevos datos para descubrir y validar el funcionamiento de sistemas de fallas activos.
3. Claves del funcionamiento del sistema manto-corteza-atmósfera: la influencia, entre el manto litosférico y la corteza continental y su repercusión en el cambio global, integrando datos de todas las disciplinas de las Ciencias de la Tierra.
4. Integración de observaciones y resultados, gestionando un volumen de datos masivo, y proporcionando acceso a herramientas para la manipulación y visualización de los mismos.
5. Marco para integración de otros equipos investigadores ya existentes en Ciencias de la Tierra.

Resultados más específicos esperables:

- Despliegue de la plataforma de observación multi-instrumental y pluridisciplinar IberArray.
- Nuevos modelos de la estructura y propiedades del manto sublitosférico en Iberia basados en la integración de observables geofísicos, fundamentalmente de tomografía sísmica.
- Nuevos mapas de espesor litosférico, de rigidez y de ritmo de deformación en cada área temática.
- Mapa actualizado de profundidad del Moho y espesor cortical.
- Mapas de propiedades físicas en áreas clave de la Península Ibérica integrando información estructural y modelos 3-D de parámetros geofísicos (espesores, velocidades, densidad, resistividad eléctrica, resistencia,..) de la litosfera de Iberia y NO de África.
- Mapas paleogeográficos relativos a la evolución del sistema de drenaje peninsular, de cuencas sedimentarias y topografía en los últimos 20 M años.
- Mapas neotectónicos regionales con inclusión de los ritmos de levantamiento, subsidencia y desplazamientos laterales.
- Mapas sismotectónicos y parámetros de las fallas para la determinación de la peligrosidad sísmica asociada a estructuras tectónicamente activas y establecimiento de la arquitectura superficial de las fallas activas.
- Cuantificación de ritmos de subsidencia en cuencas y deltas en evolución, identificando sus mecanismos de control.
- Cuantificación de ritmos de levantamiento en orógenos activos e identificación de sus mecanismos de control.

- Cuantificación de ritmos de levantamiento/subsidencia intraplaca inducidos por plegamientos litosféricos y otros procesos.
- Nuevos conceptos sobre el control tectónico de sistemas fluviales.
- Determinación del balance sedimentario entre orógeno y cuenca.
- Evaluación y análisis de nuevas bases de datos de satélite de geodesia y gravimetría.
- Caracterización geológico/geofísica de sistemas orogénicos, estilos de deformación, balances, arquitectura interna y dinámica.
- Caracterizaciones superficiales y profundas de sistemas de fallas activas.
- Establecimiento de un modelo cinemático Iberia-NO de África considerando el comportamiento mecánico de las estructuras tectónicas activas.
- Establecimiento de la evolución térmica y las tasas de exhumación de las rocas de las Cordilleras de la placa Ibérica y de sus antepaíses.
- Cuantificación de la importancia relativa de los factores climático-geomorfológicos y tectónicos para la formación del relieve, a partir de las tasas de incisión de la red de drenaje y de la actividad de los frentes montañosos.
- Determinación de tasas de levantamiento del relieve y cambios paleoclimáticos a partir de datos sedimentarios (paleontológicos, mineralógicos y geoquímicos) desde el Tortoniense hasta la actualidad.
- Análisis comparativo de la evolución de levantamiento, erosión, sedimentación, sismicidad y sistemas fluviales en Iberia y otras áreas europeas fuertemente influidas por procesos actuales de delaminación litosférica.
- Balance de la deformación cortical cuaternaria y ritmos de deformación co-sísmica según catálogos históricos y paleosismicidad en áreas claramente activas como las de interacción entre la placa Ibérica y la Africana, o el cinturón del Mediterráneo oriental, en comparación con otras áreas europeas con sismicidad más moderada.
- Caracterización de la vulnerabilidad de las distintas regiones frente a deslizamientos ligados a la topografía y a la actividad sísmica.

Además de la difusión de los resultados en los foros académicos clásicos, como revistas de impacto, congresos internacionales, etc. (ver detalles en el Apartado 4: Plan de Evaluación), en aspectos relacionados con la peligrosidad geológica (sísmica y de deslizamientos) se informará a los organismos competentes (Protección Civil, Medio Ambiente, Obras Públicas entre otros) para su conocimiento y efectos.

2.8. Esquema de Tareas previstas y Plan de Trabajo

En el esquema de Tareas y Plan de Trabajo que se indica a continuación tiene especial relevancia el despliegue de instrumentación de la plataforma multidisciplinar *IberArray* para adquisición de nuevos datos, uno de los aspectos fundamentales e innovadores de este programa. Según se ha indicado en el apartado metodológico, un diseño ‘óptimo’ de la plataforma IberArray incluiría como elemento básico la implementación en la Península Ibérica de una malla de 50 km x 50 km, en cuyos nodos se instalen estaciones sísmicas de banda ancha (registrando en continuo la sismicidad global durante periodos de unos 2 años), así como instrumentos GPS de medición de deformaciones que revelen la dinámica actual peninsular, efectuándose además mediciones de otros parámetros, como la conductividad eléctrica con instrumentos de magnetotelúrica. Las redes de instrumentación permanente ya existentes permitirán cubrir algunos nodos de esta malla o algunos puntos de las transectas, por lo que el despliegue de equipamiento portátil o temporal se enfocará a llenar los huecos hasta completar una retícula homogénea. Algunas de las instituciones que participan en este programa disponen de instrumentación pertinente, aunque el número total de equipos es claramente insuficiente, por lo que resulta indispensable disponer de un ‘pool’ nacional adecuado.

Es voluntad del equipo investigador de este programa impulsar la creación de este ‘pool’ nacional de instrumentación de uso compartido. Para ello, se ha presupuestado en este programa la adquisición de una primera parte del mismo, en forma de instrumentación basal, y se concurrirá a sucesivas convocatorias de programas de infraestructura para completar el equipamiento. Con la instrumentación disponible actualmente (incluyendo la de nueva adquisición) se puede obtener, en el marco temporal de este programa, un muestreo significativo de las zonas de mayor interés. Un recubrimiento óptimo del área peninsular requerirá una continuación temporal del programa o, alternativamente, disponer en el curso del mismo de equipamiento adicional mediante colaboraciones científicas internacionales, para extender y ampliar el área muestreada en cada periodo de tiempo. Los márgenes continentales Ibéricos deberían ser muestreados de manera análoga, desplegando redes de instrumentación marina. Esto conlleva un serio desafío tecnológico y, a corto plazo, será posible únicamente estableciendo colaboraciones científicas internacionales, con las pocas instituciones que disponen actualmente de equipamiento apropiado (OBS de banda ancha, sensores MT marinos,...).

Esquema de Tareas en los tres ámbitos de actuación (a: sur; b: centro; c: norte).

Se mencionan las instituciones más directamente involucradas en cada una, si bien la mayoría de los grupos participarán en las distintas tareas.

Num.	Tareas	Instituciones Responsables	Grupos Participantes
I.	Recopilación de datos geológicos y geofísicos existentes. Creación de bases de datos (compatibilización de redes, unificación de formatos, etc.)	Ia: UG+IGME Ib: UCM+IGME Ic: UO+IGME	Ia: UG, UCM, IGME, UB, UAB, UCA, ROA, UJ Ib: UCM, IGME, UB Ic: UO, UAB, IGME, UB, ROA
II	Despliegue red portátil de instrumentación sísmica, sucesivamente en cada área de estudio (coordinación eventual con otras acciones internacionales).	Ia: ICTJA+UG Ib: ICTJA+UCM Ic: ICTJA+UO	IIa: ICTJA, UG, UCM, ROA IIb: ICTJA, UCM, IIc: ICTJA, UO, UCM
III	Despliegue de redes temporales de instrumentación geodésica/GPS	IIIa: ROA+UJ IIIb: UCM+ROA IIIc: UB+UO	IIIa: ROA, ICTJA, UJ, UB IIIb: UCM, ROA, UB, ICTJA, IIIc: UO, UB, ROA, ICTJA
IV	Mediciones de magnetotelúrica, campos potenciales, paleomagnetismo, etc. Modelación 3D de parámetros geofísicos.	IVa:UG+UB+UCM IVb:UCM+UB IVc: UB+UO+IGME	IVa: UG, UB, UCM, ICTJA, ROA, UAB IVb: UCM, UB, UG, ICTJA IVc: UB, UO, IGME, UCM, ICTJA
V	Neotectónica, geocronología, geología estructural, geomorfología, etc.	Va:UG+UCA+UB Vb:UCM+UCA+UO Vc:UO+UB	Va: UG, UCA, UB, UAB, UJ Vb: UCM, UCA, UB Vc: UO, UB, UAB
VI	Acciones específicas de adquisición de datos de alta densidad en zonas de especial interés.	VIa:UG+ICTJA+UCM VIb:UCM+ICTJA VIc:UO+ICTJA+UB	VIa: UG, UCM, IGME, ICTJA, UB, UAB, ROA VIb: UCM, IGME, ICTJA, UB VIc: UO, IGME, ICTJA, UB
VII.	Desarrollo métodos de análisis e interpretación de datos geofísicos y de modelación evolutiva analógica y numérica	VIIa: ICTJA+UG VIIb: ICTJA+UCM VIIc: ICTJA+UO	VIIa: ICTJA, UG, UCM, UB, ROA VIIb: ICTJA, UCM, UB VIIc: ICTJA, UO, UB, UCM
VIII	Establecimiento de modelos de estructura interna a partir de datos sísmicos, utilizando inversiones tomográficas, 'receiver functions', anisotropía, etc.	VIIIa:ICTJA+UG VIIIb: ICTJA+UCM VIIIc: ITCJA+UO	VIIIa: ICTJA, UG, UCM, ROA VIIIb: ICTJA, UCM VIIIc: ICTJA, UO, UCM

<i>Num.</i>	<i>Tareas</i>	<i>Instituciones Responsables</i>	<i>Grupos Participantes</i>
IX.	Modelos sismotectónicos a partir de parámetros hipocentrales, mecanismos focales, geología estructural, neotectónica y paleosismología	IXa:UG+UCM IXb: UCM+UB IXc:UO+ICTJA+UB	IXa: UG, UCM, UB, ROA IXb: UCM, IGME IXc: UO, IGME
X.	Modelos de balance y flujo de sedimentos, subsidencia en cuencas, etc.	Xa:UG+ICTJA Xb:UCM Xc:UO+ICTJA	Xa: UG, UCM, IGME, UCA, UAB Xb: UCM, IGME Xc: UO, IGME
XI	Modelos dedenudación y levantamiento de cordilleras peninsulares a partir de datos de geocronología de baja temperatura (huellas de fisión, nucleidos cosmogénicos, luminiscencia, etc.).	XIa: UCA XIb:UCM XIc:UO	XIa: UG, UCM, IGME, UCA, UAB, UB XIb: UCM, IGME, UCA, UB XIc: UO, IGME, UAB, UCA
XII	Modelización conjunta de las interrelaciones recientes entre tectónica, evolución del relieve y cambio climático	XIIa: UG XIIb:UCM XIIc:UO	XIIa: UG, UCM, UCA, UAB, UB XIIb: UCM, UB XIIc: UO, UB
XIII	Modelos de estructura y evolución tecto-sedimentaria de los márgenes Ibéricos Atlánticos a partir de datos geofísicos marinos y su correlación con zonas emergidas.	XIIIa: IGME+UCA XIIIc: IGME+UO	XIIIa: IGME, UCA, UG, ROA XIIIc: IGME, UO, ROA

Abreviaciones.

ICTJA: Instituto de Ciencias de la Tierra Jaime Almera-CSIC

UG: Universidad de Granada

UO: Universidad de Oviedo

UB: Universidad de Barcelona

UCM: Universidad Complutense de Madrid

UAB: Universidad Autónoma de Barcelona

UCA: Universidad de Cádiz

UJ: Universidad de Jaén

IGME: Instituto Geológico y Minero de España

ROA; Real Instituto y Observatorio de la Armada

2. DESCRIPTION OF THE RESEARCH ACTIVITY PROGRAMME

Topo-Iberia is an initiative that results from the willingness and interest of many Spanish research groups in geosciences to establish a scientific-technological framework within which to develop in an integrated way multidisciplinary studies on the solid Earth system in our country. The 'Iberian micro-continent' constitutes a most suitable natural laboratory, well identified by the international scientific community to develop innovative, frontier research on its topography and 4-D evolution.

2.1. International framework

In the coming years, the research on Earth structure and dynamics will be marked by mega-programs like EARTHSCOPE already ongoing in USA, with a scheduled duration of 10 years and a total funding of ~400M\$. The different components of this programme (USArray, SAFOD, PBO) will provide the features and evolution of our planet at different scales and with an unprecedented resolution scale. At the same time, they constitute a serious challenge for European research. Analogue research programmes should be developed within Europe in order to keep a competitive scientific level and ensure the appropriate incoming of young researchers, avoiding their 'delocalisation' or moving towards environments with better opportunities and attractions.

In this context the TOPO-EUROPE initiative is emerging, focused on understanding the interaction between deep, surficial and atmospheric processes that control the topography of the continental Europe and their margins. This initiative forces the integration and promotes multidisciplinary research on geomorphology, geology, geophysics, geodesy, remote sensing and geotechnology. Extensive data bases and structural models are available but the must be enlarged and completed by acquiring a greater spatial density of observables, controlling their evolution in time and designing novel strategies of joint interpretation. A first proposal has been elaborated, to establish an EUROCORES-ESF involving 12 relevant european institutions of Netherlands, Germany, France, United Kingdom, Italy, Spain, Ireland, Denmark, Norway Hungary and Switzerland, which has been evaluated and recommended for the 2006 open call. In parallel, Topo-Europe initiatives are being pursued on a national level, some already funded, that is the case of the Netherlands, Norway and Ireland. This should provide the appropriate synergy to achieve the common objectives foreseen. Moreover a direct connection with the industry is promoted as well as education programs for young researches through top master or integrated basin studies BASINMASTER, currently under development with support of the European Commission and the energy industry.

Topo-Europe has identified up to 6 highly relevant natural laboratories in which the future research in the European domain should be focused, one of them being the 'Iberian micro-continent'. The complex evolutionary history of Iberia, with a central craton rimmed by alpine orogens holding successive processes of intraplate compression and extension, with recent seismic activity, provides a unique opportunity to analyze the response of a cratonic lithosphere to plate boundary and thermal forces. The lithospheric deformation controls also the drainage pattern in the Peninsula, the topography and the intracontinental basins, as it has been shown by recent studies of structure, thermogeochronology and numerical modeling of superficial and lithospheric processes (see resume of institutions). The research in the Topo-Europe framework should address the configuration of Iberian lithosphere and underlying mantle, to be able to discriminate between deformations induced by plate convergence and the

effects of deep-seated thermal anomalies related to mantle plumes and detachments and roll-back of the Alpine-Thetys subduction slab. Moreover, it should develop a new generation of dynamic models on the neotectonic deformation and topographic evolution.

The scientific research of Topo-Europe is supported by a fundamental technological component, a multidisciplinary observation platform EUROARRAY, that is a multi-sensor pool of instrumentation 'Terrascope' of seismics, GPS, magnetotellurics, etc. EuroArray has decided to promote a first thematic initiative, named PICASSO, in the interaction area between the Iberian and African plates. Multidisciplinary research is foreseen based on experimental networks that sample in a dense, homogeneous way the region of South-Iberia and North-Africa including the marine domain in between, the Alboran Sea and Gulf of Cadix. The aim is to establish the 3-D structure, geodynamics and neotectonics of a highly complex area where very different evolutionary models have been proposed, and which rises the interest of a widespread international scientific community.

The scientific potential and the research profile of the different Spanish groups active on geodynamics and geophysics allows them to take a leadership and coordination role in the TopoEurope activities in Iberia, in the thematic initiative Picaso, as well as to have a relevant participation in other international research projects in the next future. However in order for the Spanish Earth science research community to be able to play this role an instrument is needed. This instrument should: 1) Ensure the synergy between the different groups that have been historically and geographically scattered; 2) to define major research objectives; 3) to achieve a large scale facility multidisciplinary pool of instruments; 4) to generate integrated results and interpretative models. This is the motivation for TopoIberia.

2.2. Rationale

The topographic configuration (sedimentary basins, rivers, ...) and the changes that may happen in our geographic environment have a marked societal impact, as they control the location, the living conditions and development of human activity. The relief changes may happen at very different time rates, and have widespread origins, either natural or anthropogenic. In any case, they must be seriously considered in aspects such as resources and natural hazard assessments, climate changes, etc.

Continental topography have been studied traditionally just in relation with a series of processes happening on the Earth surface and the atmosphere. Nevertheless, recent studies though, have revealed the importance and influence on the topography of deep geological processes, at lithospheric and mantle levels. The impact degree of such processes, and the relationship between all of them are still poorly understood and are currently topics of intense research such is the case of the Tibet and Hispanola Island. To constrain them, innovative multidisciplinary and integrated studies on the solid Earth field are required. The structural and evolutionary models should rely on data ensembles with much higher resolution than currently achieved and therefore, new high density acquisition experiments using multidisciplinary platforms should be designed.

2.3 Objectives

The main objective of this program is to generate predictive models featuring high resolution in space and time on the topography and evolution of the Iberian Plate. This project features an innovative approach which consists of analysing in a joint and integrated manner the

influence of the surficial and deep rooted natural processes. Within the numerous phenomena which we pretend to quantify with very important social implications include: the effects on the uplift and subsidence in the course of the different river systems. This will be done by analytical techniques including in-situ measurements of erosion and denudation. Predictive changes in elevation, geo-hazards or the evolution of aquifers of drinkable water through the knowledge in changes in the stress field due to natural or human origin. The existing data and the newly acquired on the physical properties of the terrestrial materials at different scales should provide estimates on instability thresholds on faults and the stress release after an earthquake. The new advances in crustal deformation and the new understanding on thermomechanical processes of the crust and upper mantle should provide meaningful new data on topics as the mitigation of geo-hazards.

A primary approach consists of the identification of **Generic Objectives** of this program developed within the frame of international initiatives such as Topo-Europe/EuroArray which include:

- 1) ***Establishment of a common working platform in the form of an integrated network of research groups/centres.*** This requires a basic coordination action within the responsables of the different research groups. Organization of topic workshops in order to present the multidisciplinary data and arranging its integration.
- 2) ***Constitution and management of an integrated geological-geophysical database,*** of easy access, that would allow farther development plans such as a 'MAGNA-geophysics' project. With a continuous interaction with the existing international structures, such as Orfeus, the Neries EU program and/or the Pangea.
- 3) ***Development and management of a multitask platform, IberArray, of Earth monitoring,*** to reveal the inner structure and the environmental impact. Spain lacks of such great Earth infrastructure, equivalent to astronomical observatories or high-energy installations to decipher the matter constitution. Such infrastructure is mandatory to develop an innovative geo-scientific leading edge research in agreement with international expectations. This is a fundamental axis of our program which aims to obtain new multidisciplinary data-sets with a unprecedented resolution to resolve the objectives. This new information pretends to increase in a progressive manner the general data bases. In parallel with this program, complementary research projects will be developed for specific and/or localized data acquisition with even higher resolution to solve critical problems. Some of them will be developed within the framework of this program and others of larger magnitude should be proposed in the form of independent projects.
- 4) ***Methodological developments and modelling.*** As a main axis of the program is the integration of different geological and geophysical data and methods, and the study of the interaction between surface and deep geodynamic processes, it will require a relevant effort in developing new methods of data acquisition, processing and integration, as well as the generation of new algorithms and their incorporation on numerical and analogical modelling methods
- 5) ***International coordination of research.*** One aspect of the present program is to push forward actions to interact with international generic research programs such as EarthScope, TopoEurope-EuroArray and with more specific research projects with international/national groups with a direct link. This cooperation will be promoted at two levels scientific and tecnologic (for example, integrating national instrument pools

with other European pools).

- 6) ***Education/formation of specialists, and information dissemination.*** It is planned to provide tools and resources to the education community and general public. Also, to design Master and PhD programs of excellence.

The **Specific objectives of *Topo-Iberia*** will be achieved by implementation of methodologies and tasks that will be detailed hereafter. They can be grouped in three main levels: studies of the structure and dynamics of the upper crust, of the lower crust and upper mantle, and of the interaction between surface and deep processes. They can be listed as:

- Detailed analysis of the topography, bathymetry and geomorphology.
- Accurate determinations of vertical and horizontal movements
- Sedimentation, erosion, uplift and subsidence rates during the Plio-Quaternary
- Geological hazards associated to landslides and slope instabilities.
- Evolution of river systems, drainage networks and coastal systems
- Obtention of high resolution geophysical parameters to characterize the crust and mantle
- Location of active structures related with plate boundaries
- Characterization and evolution on main tectonic structures
- Seismotectonic activity and seismic hazard associated
- Superposition of local and regional stress fields and surficial tectonics
- Isostatic equilibrium, mass redistribution at different lithospheric and sub-lithospheric levels, and relief generation
- Influence of the relief variation and climate on the crustal tectonic deformation
- Density variations induced by changes in the p-T conditions, and phase changes and their influence on vertical movements
- Identification of geodynamic mechanisms responsible of the lithospheric deformation

2.4. Research Actions.

Topo-Iberia is a multidimensional programme, with interrelated and interactive components and integration of results to establish a topography and evolution model of our natural environment. Actions to be developed can be catalogued depending on the domains or type of activity as **methodological, regional or thematic**.

The Methodological actions include experimental studies making use of seismic techniques, deformation measurements by GPS/geodetics, magnetotellurics, gravimetric, magnetism and paleomagnetism and satellite imaging, etc. A very important aim is to obtain new data with unprecedented resolution and coverage (multi-instrumental pool IberArray), that complement the existing data sets, allowing an integrated analysis with the necessary resolution. The marine environment (continental margins and neighbouring basins) will require the development and use of analytical systems and marine geological-geophysical techniques.

New methods and analytical and interpretation techniques as well as new analogical and numerical modelling of evolution will also be developed.

Regional actions will consist of studies of orogenic systems including foreland basins and continental margins in three areas: South, Centre and North. In the South: the Betic-Rif and Atlas orogens, and the marine domains in-between: Alboran Sea and Gulf of Cadiz (initiative Picasso). In the Centre: Meseta, Central system and Iberian system, including Catalan ranges and eastern basins. In the North: Pyrenean and Cantabrian ranges, including Duero and Ebro basins and Cantabrian and Galician margins. Some studies should also include all three thematic areas, the entire Iberia Peninsula and depending on the aim of the study (litosferic deformation, mantle chareacterization) the surrounding areas such as north of Africa (in the case of the Alboran Basin) and/or south of France (in the case of the Pyrenees).

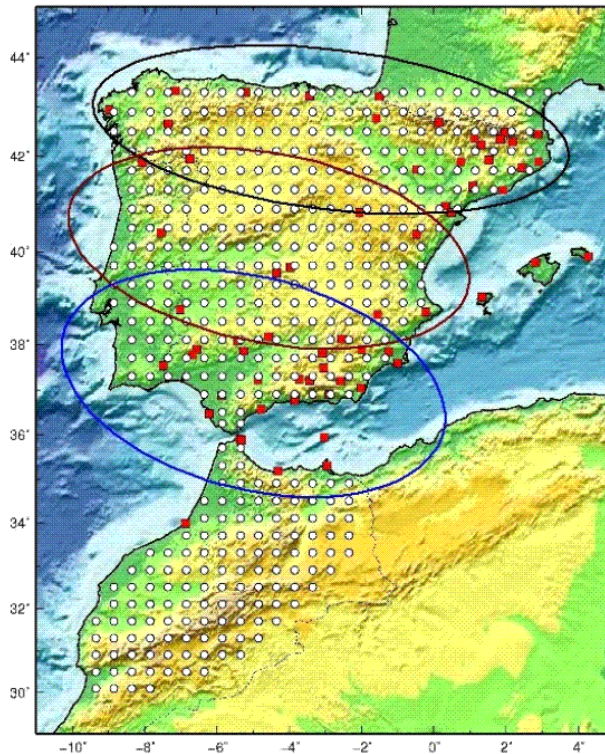
Thematic actions refer to studies of *superficial processes and deep processes* (at the lithosphere and mantle level), as well as environmental studies such as global change (interactions between tectonics, erosion-sedimentation and climate), natural resources and hazards. It should also be mentioned actions related to the tectonic interaction between erosion-sedimentation, climate, global change, natural resources and geological hazards. Another action includes the interaction of the crustal and litospheric structure (geometry), heat flow, mineralogic composition. Finally, a third topic includes the development of a new generation of tools for analogic and numeric modelling which should constrain with higher precision the geological processes including a larger number of physical observables and conceptual elements.

2.4. Analytical Methodologies

In order to establish and develop studies within the three thematic areas a combination of multidisciplinary techniques and measurements will be employed. These include: geophysics, geology, geochronology, etc. These disciplines characterize the different physical properties of the materials. **Topo-Iberia** aims to increase in an unprecedented maner the amount of experimental information with the implementation/instalation of a relatively large instrument pool. These instruments will perform measurements of different physical observables usable by the different disciplins. The methodologies which will be use in this research project include:

2.4.1 Passive Seismic Methods (Earthquake recordings).

Most seismic methods to be used will be based on earthquake recording data at local, regional and teleseismic scales. For this purpose, a dense temporal network of Broad bands digital recording intruments will be deployed successively within the three areas identified in # 2.4. This network will be composed of a minimum of 80 seismic recorders. Part of these will be acquired within the frame of this project (a national pool of instruments) another part will be provided by international groups with access to their own pools and this pool will be complement by a few national units (these will be selected from the least old instruments). The network will be deployed in a 50 or 60 km grid, taking into account the existing stations from the Spanish permanent networks. This deployment should provide a simultaneous, uniform and homogeneous coverage with an unprecedented resolution.



Sketch of a 50x50 km grid covering the Iberian Peninsula and including the North-African plate. This later array coverage is part of an international research initiative known as PICASSO). Red squares indicate the operative BB seismic stations of the Spanish permanent network. The ellipsoids indicate the three deployments that would cover the three thematic areas of the Iber-Array: South (blue); Center (red), North (black). This figure is also indicative of the international framework in which this research program could be part of.

The seismic records acquired with this instrument set up can be analyzed using different methodologies aiming at different objectives. A first phase would be an increase in the precision on the location of the regional seismicity by considering waveform analysis and other advanced techniques. A special emphasis has to be attributed to the use of seismic tomographic inversion schemes to obtain 3 dimensional maps of physical properties (P and S seismic wave velocities) to study large scale structural elements within the Iberian Peninsula. This includes research using travel times and waveforms of P and S arrival at different scales (local, regional and global) and surface waves, using dispersion measurements and studies dealing with the background/environmental noise. In addition receiver function analysis for seismic imaging of deep lithospheric features and splitting analysis of shear-wave arrivals will also be applied.

a) Earthquake location with advanced techniques.

An important aspect will be to determine in all the seismic networks the arrival times of the different phases (of local, regional and global events) in the most precise, reliable and consistent way as possible in order to obtain the best structural models. Automatic phase picking that use the measures of similarity between waveform arrivals using cross-correlation and/or adaptive stacking will be implemented. New hypocenter locations will be attempted using double differences, grid search and maximum intersection methods using 3-D seismic velocity models.

b) Seismic tomography.

Seismic tomography includes the use of first arrivals (Pg, Pn and S arrivals) of local/regional earthquakes, and methods that can use irregular gridding cells and in which the theoretical travel times are calculated by finite differences. Furthermore, the velocity models and the hypocenter locations are inverted simultaneously. This approach will be attempted at local, regional and global scales.

Seismic tomography is a nonlinear inversion problem in which a first guess seismic velocity model is needed. Thus, in order to obtain a good first model, an inversion of travel times using bulletin data will be performed at the beginning of the project. This starting 3-D preliminary model will be used to obtain a first localization of hypocenters of the local seismic activity. This model will provide quantitative measurements of where to locate the temporal network filling in the most critical gaps not resolved by the operative existing seismic networks. After the acquisition time lap a new, updated model will be generated with the newly acquired seismic data. This model will be used for data integration and for the geodynamic interpretation. The global tomography study will follow a similar approach.

Surface waves, Love and Rayleigh modes will be used also in a tomographic scheme considering short periods up to 5 s, to obtain S-wave velocity models with a good resolution in the shallow parts of the models. Maps of the distribution of the S wave velocities from 5 to 100 s will be produced. Furthermore this data will provide estimates of the existence of anisotropy in the upper mantle (transverse isotropy).

A third methodological development consists of the use of background noise (of environmental origin) mainly generated by the ocean and atmospheric perturbations and that are independent of the degree of seismicity of the area in tomographic schemes. These methodologies, recently developed, are based on the cross correlation of a random and isotropic wavefield between several stations. This cross correlation results in a new waveform which differs in one factor of the Green's Function between stations. Maps of short period (5-20 s) group velocities can be obtained to provide well resolved S-wave velocity models of the shallow subsurface in areas independently of their seismic activity.

c) Receiver Functions

Receiver functions provide the large scale seismic structure, and changes in crustal thickness under the station. This is done by analysis of the P-S conversions of teleseismic events. At each station, a relatively large scale 1-D model of the seismic velocity and estimates on the Poisson's ration can be obtained. The proposed deployment complemented by additional stations will provide seismic images of the entire lithosphere. These images reveal the most prominent seismic discontinuities and lateral variations. This approach provides seismic sections which can be comparable to the sections achieved by conventional active techniques, although they feature lower resolution.

Receiver functions acquired by the proposed deployment of Broad Band stations should provide images where the lateral variations of the 410 and 660 discontinuities could be mapped under the Iberian Peninsula. Changes in the thicknesses of these layers allows the estimation of mantle velocities. They complement the models obtained by tomographic techniques.

The P and S wave receiver function techniques will be applied to stations of the permanent network and to the stations of the temporal network. The grid proposed complemented by other international projects which are being submitted to different agencies of different

countries (US, UK, etc) will provide enough dense coverage to obtain 2-D high resolution sections of the lithosphere of the Iberian Peninsula.

d) Seismic Anisotropy

Lithospheric processes and in particular those taking place in the upper mantle leave a seismic imprint in the physical properties, as is the case of the azimuthal anisotropy. The azimuthal anisotropy is estimated from the birefringence analysis of shear wave teleseismic arrivals. It is well established that the largest effect to the anisotropy is due to the subcrustal lithosphere and sublithospheric mantle. This is mostly due to the preferred orientation of the crystal grid of the minerals that constitute the upper mantle.

The mechanism that generates this orientation is still on debate. In active areas (mid-ocean ridges, rifts and subduction zones) it seems clear that the anisotropic properties reflect the dynamic processes, nevertheless the inter relationship is not simple. In tectonically inactive areas there are two main theories to explain the Lattice Preferred orientation (LPO); theories that involve dynamic processes where the LPO is associated to the network of fluxes within the asthenospheric mantle; and theories that associate the LPO to relics of the last tectonically active event that affected the upper mantle.

The seismic anisotropy analysis requires the identification of good quality SKS, SKKS and PKS of all the seismic events at epicentral distances between 85 and 120 deg. The measurement of the anisotropic parameters (ϕ y δt) will be performed by a grid search method. In this method both horizontal components for different coordinates and different times are analysed. Then if there are azimuthal variations, a model has to be build that can consistently explain all the variations. These parameters are then explained in terms of the deep geodynamic scenarios, particularly linked to intensity and direction of mantle fluxes.

2.5.2 Magnetotellurics

The magnetotelluric methodology is based on measurements of the variation of the Earth's electrical and magnetic fields. These measurements provide the main constraints in order to estimate conductivity models of the Earth's lithosphere. This parameter is supposed to be particularly sensitive to relatively small variations in the content of specific components of the mineral of the rocks (grafite, saline fluids, degree of partial melting, etc.). These parameters are very important as they directly affect the behaviour of the rocks and thus are important in terms of tectonics. The depth of the studies is dependent on the range of periods recorded, and there is specific instrumentation for each range. For the last decade, this methodology has experienced a notable technological and methodological evolution and its capabilities have been notably increased (distortions have been suppressed, enviromental noise has been attenuated, and numerical inversions have been implemented for 2-D and 3-D. Nowadays, this methodology is complementary to the seismic methodology, as provides information on other physical properties of the internal structure of the crust.

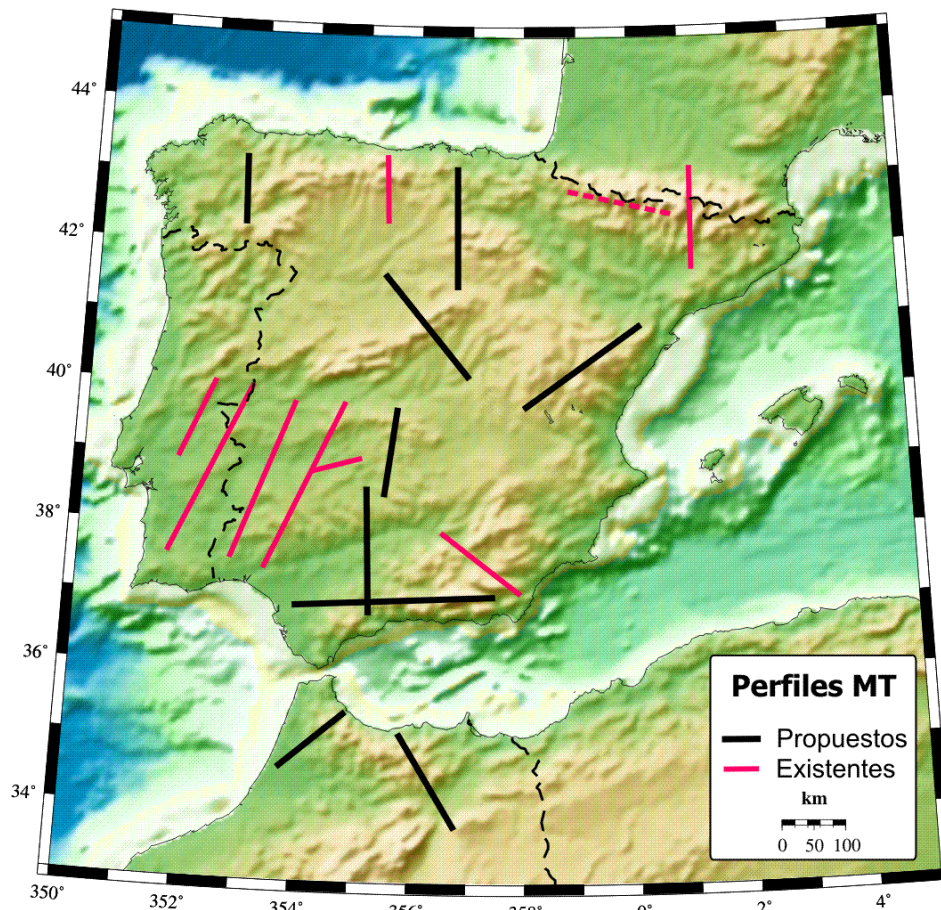
Conventional MT data acquisition has been carried out in terms of 2-D transects. This scheme provides information on the conductivity properties (including conductive anisotropy) of the crust and mantle along a profile. Several MT transects have been designed in such a way that can be integrated into 3-D models, in a consistent way with the structural models derived by other techniques. In the nineties, some MT studies have already been developed in the peninsula. Here we propose new profiles to achieve integrated transects at the whole scale. In parallel, two permanent stations of very long period (10^5 s) will be installed, in strategic places depending on ambient noise. These stations will provide informations on very deep

levels, and will be used as reference bases to establish the remote reference during the acquisition campaigns for new profiles such as:

In the southern domain, two orthogonal profiles are proposed in the Western part of the Betics, where few data on crustal structure are available. Both profiles traverse sismogenetic zones, such as the Granada depression or the Malaga surroundings. In the Rif cordillera there will be two other profiles perpendicular to the main structures.

In the central domain, a NW-SE profile will characterize the alpine structure of the Central System, and another profile will run coincidentally with a seismic refraction profile recently acquired. A third MT profile in the easternmost part of the Central-Iberian zone will be recorded coincident with the deep seismic reflection profile ALCUDIA.

In the northern sector, a N-S profile from the Iberian chain to the coastline, crossing the Sierra de la Demanda and Mesozoic Basque-Cantabrian basin, and another profile crossing the variscan structures of the Western Astur-Leonese zone, in an area characterized by a marked magnetic anomaly, as well as a relevant seismogenetic zone of the northern part of the Iberian peninsula.



Magnetotelluric profiles proposed (black) and already existing (red) in the different sectors

2.5.3. Gravity, magnetics and paleomagnetism.

This project should also contribute to the determination of a dense grid of measurements on potential fields such as gravity and magnetism. The data acquisition effort is directed toward filling in the gaps and acquiring complete transects that could extend from the Iberian

Peninsula in to Northern Africa to constrain the lithospheric models in this controversial area. Additional dense grid acquisition is planned in sedimentary basins, and dense magnetic grids in regions where intense anomalies have been located (Pirite Belt). These anomalies can be correlated to mafic-untramafic bodies of mantle origin. This new acquisition program should provide new and densely sampled constraints on the lithospheric structure.

Detailed potential field measurements are required to determine the structure of the upper crust, and the depth to basement and the overall distribution of sedimentary basins. This is very important in order to calculate the isostatic effects in 3-D and be able to separate the contributions of the crust and mantle to the topography, and also to identify zones which are not in equilibrium, thus where the topography is not supported dynamically.

2.5.4. Analog and Numerical Modelling

Numerical modeling includes mainly two aspects, static characterization of structure, internal architecture and dynamic evolution model of the previously defined structures. The latter aspect includes cinematic and dynamic models. Analog modeling refers to simulating the lithosphere evolution in specific scenarios and with structures and materials with specific physical properties.

a) Integrated models for the characterization of the crust and upper mantle

The lithospheric modeling in 2D and 3D will be done by solving in a joint manner the equations that control the potential fields, isostasy, and thermal state. This scheme allows to integrate different geophysical observables such as gravity, geoid, topographic elevation and heat flow. In this scheme the linking variables are the thickness of the crust and lithosphere and their average densities. The new developments which are being put forward as leading edge research are the inclusion of petrophysical models and mineralogy (mineral physics). This new approach provides the necessary mathematics to estimate elastic constants as a function of the age, composition, P and T conditions.

This methodology aims to: i) Determination of the structure of the crust and upper mantle. ii) Determine mathematical and/or physical functional relationships which can correlate the anomalies in seismic wave velocities and temperature and density anomalies. iii) Determine the consistency between the models obtained through geopotential data and the models determined from seismic tomography, and iv) Estimate the origin of the dynamic topography by determining the differences between the seismic tomography models and the models derived from the potential fields. This dynamic topography will most probably be attributed to sublithospheric levels. Furthermore, the integration of potential field measurements with MT and seismics can provide specific constraints in the nature of the lower crust.

b) Lithospheric deformation, numeric simulation.

This aspect includes the numerical solution of a system of equations that include the conservation of: moment, mass and energy and the constitutive equations for the different rock types that are considered to form the lithosphere. Two complementary developments can be considered within this type of modelling. The plane strain or stratified rheology and plane stress or averaged rheology. The former models a 2-D section which is specially appropriated for processes such as: subduction, delamination, convective erosion, continental collision, and development and evolution of passive margins. The latter assumes that the lithosphere behaves as a thin sheet with a viscous rheology averaged vertically. This is specially appropriated to

model deformation at geological time scales (large deformations), and in geotectonic studies (infinitesimal deformations). In the first case the results of the modelling are compared with temporal observables (kinematic reconstructions of plates, uplift and subsidence estimates, geobarometers and geothermometers) and with the present-day lithospheric structure. In the second case the surface velocities (horizontal and vertical) and the strain distribution are compared with geodetic measurements, block rotations estimated in paleomagnetic studies, orientation and stress measurements (borehole break-outs, earthquake stress tensor, seismic deformation, etc).

c) Numerical deformation of the dynamics of superficial processes

The principal objective is to understand the landscape evolution as a result of the integrated action of erosion, fluvial transport of sediment, tectonic deformation at crustal scale and vertical movements associated to isostasy. The capacity of the river system of transporting sediments as a function of the amount of water that have and the slope along their trajectory can be integrated with the tectonic and climatic processes. The kinematic and rheological conditions on the lithosphere as well as the parameters that control the climate need to be included. This sophisticated modeling can be used to predict at different scales (local, regional, etc) the changes suffered by the topography and can be checked by using geochronological and geomorphological data.

d) Analogic Simulation

Qualitative analysis of the deformation as a function of time can be achieved by analogic modeling. A movie of how the geological structures change in time can be obtained by this technique. The materials used have physical properties similar/identical to the materials that form the lithosphere. For these mechanical tools with very high precision measuring devices are used. This allows to simulate tectonic scenarios at a lab scale which are comparable to the ones observed in the field and reproduce its structural features (such as folds, faults, thrusts, diapirs, etc). Conceptual models can be also validated in this way (subduction, delamination, mantelic erosion, etc). In the present project the modeling is oriented towards understanding the formation and evolution of the characteristic tectonic structures of the Iberian Peninsula. These structures are conditioned by the distribution of far field stress associated to the relative movement of Africa and Eurasia, and the stress propagation throughout the Iberian micro plate.

2.5.5. Dating methods

Establishing the rates of uplift and the rates of surface evolution requires the use of dating methods. Methods allowing to obtain information at complementary timescales will be used.

a) Thermochronology based on Fission Tracks and U-Th/(He)

Low-temperature thermochronology allows to study the time-temperature evolution of shallow crustal regions where temperatures range between 25°C and 250-300°C. Rates of uplift will be studied based on fission tracks and U-Th/(He) of apatite and zircon minerals, for timescales ranging several million years to tens of millions of years. In addition, fission tracks will allow to establish sediment source areas and their evolution, and to calculate the thermal evolution based on mathematical modelling. This will be complemented by U-Th/(He) dating, which is useful in the low-temperature (= 70° C) crustal region where annealing of fission tracks does not take place. Finally, mineralogical and geochemical indices will be used to

establish climate variations concerning the time period covered in the thermochronology analysis. Selected samples will be analysed for bulk mineralogical composition, clay mineral assemblages, major and trace elements.

b) In Situ Cosmogenic Isotopes

The concentration of In Situ Cosmogenic Isotopes in sediments and rocks at the Earth's surface is a function, among other factors, of exposure age and rate of denudation (or sediment aggradation). Cosmogenic Isotopes are useful to estimate the rates at which the surface evolution operates in relatively short time scales, mainly between a few thousand years and one million years.

The cosmogenic isotope ^{10}Be will be used to establish the age of key geomorphological surfaces based on the surface exposure dating method. Sampling will be focused on bedrock erosion surfaces (e.g. fluvial erosion surfaces and shore platforms), or on depositional surfaces (e.g. fluvial terraces and alluvial fans). ^{10}Be will also be used in the calculation of denudation (or aggradation) rates at a local scale (on bedrock or depositional surfaces), and in the estimation of erosion rates at a catchment scale, based on the concentration of cosmogenic isotope in fluvial sediments.

2.5.6. Quantitative Analysis of the Topography

Digital topographic models (DTM) include the topography of surface land and the bathymetry marine basins, continental margins, etc. This data is integrated through a geographical information system (GIS). These are main tools to perform a detailed analysis of the surface topography, obtaining geomorphological indexes in mountain fronts, drainage basins and continental margins. This is a convenient tool to build slope maps, mandatory for assesment of land slides. The DTM's can be analysed by a variety of software which includes ArcGIS, Hydrotools, Rivertools, GMT and IDRISI, and additional specific routines for the estimation of indexes and parameters related to topography and drainage. The analysis and processing of these data is performed through statistic software with the aim of obtaining anomaly maps. To assess specific problems DTM can be obtained by the restitution of aerial photographs. The numerical evolution of the landscape can be estimated by comparison of this aerial restitutions acquired at different ages.

2.5.7. Detection and characterization of seismogenic structures

Two groups of seismogenic faults can be distinguished: those active within the historical period and those that remained silent (but are still seismogenic). Different approaches are proposed for each group.

a) Seismogenic faults that generate instrumental earthquakes:

The inversion of the regional seismic tensor provides information on the active geologic structures. Earthquakes can be considered as instantaneous displacements associated to elasto-mecanical instabilities (a fault surface). The recorded seismograms correspond to the contribution of the source and the modifications caused on the elastic signal by the media it travels through. The medium acts as a linear filter on the waveform. Thus, these two contributions to the final waveform need to be separated.

The decomposition of seismograms can be accomplished by using Green's functions. These are basic solutions of the elasto-dynamic equations and represent the effect due to the propagation of the waveform through the media and the seismic moment tensor. The latter represents the mechanical forces associated to the source and contain the fundamental parameters that describe the earthquake, the focal mechanism, the geometry of the rupture and the moment tensor.

Local earthquake activity localized in each of the areas will be analysed by modelling the complete seismogram registered in BB stations for periods between 20 and 50 s. For these periods a layer cake model is enough as the long wavelength of these periods tend to average and smooth out the lateral heterogeneities. The earthquake tensor will provide constraints on seismically active structures, which is specially appropriate for seismic hazard assessment.

b) Seismogenic faults that have remained silent within the historical period: Paleoseismology

The Iberian Peninsula is characterised by slow moving faults (mean recurrence period on the order of 10^4 yr). Therefore few of these faults may have broken within the instrumental period. The rest of the seismogenic faults need to be detected by other methods. Paleoseismology, including active tectonics, will be applied to 1) detect and 2) characterise these active but silent faults.

A geological and geomorphological analysis (aerial photograph, satellite analysis and morphometric studies based on DEM) will be done to detect indicators of recent activity along known faults. Field surveys will be devoted to control the interpretations made. This approach will detect the most active faults in the area and will provide information about the geological recent processes, crucial for the tectonic interpretation. To obtain a complete image of the recent geological evolution of the area radiometric dating will be carried out.

A more detailed geological analysis (tectonic and geomorphologic) will be done along the most active faults to understand the recent processes associated to their recent movements and to detect sites suitable for detailed paleoseismology. Areas where the fault creates scarps along recent sediments (Holocene or upper Pleistocene) will be chosen. The surface study at each selected site will include a micromorphographic analysis (levelling of detailed maps and profiles with contour levels up to 20 cm) performed with a Total station (Leica 1700), which will allow the understanding of the most recent geomorphological processes and the selection of the best location and orientation for the trenches (15-50 m long, up to 3 m deep and dug by backhoes). Detailed logs (1:20 scale) will be obtained in the field on the basis of a photogrammetric base obtained with Laser-scan. These logs will show the relations between deposition, erosion and tectonic events. Selected samples will be dated (TL, U/Th, ^{14}C , ^{10}Be). Mass movements triggered by earthquakes (i.e. Alhucemas 2004), their comparison with models based on experiments and monitoring, and datings of their recurrent reactivations may also provide paleoseismic information.

This approach will detect the possible seismogenic nature of the faults and will provide its seismic parameters: the maximum magnitude, the elapsed time, the mean recurrence time, the geometry of the fault and its slip rate, all of them crucial for the realistic estimation of the seismic hazard.

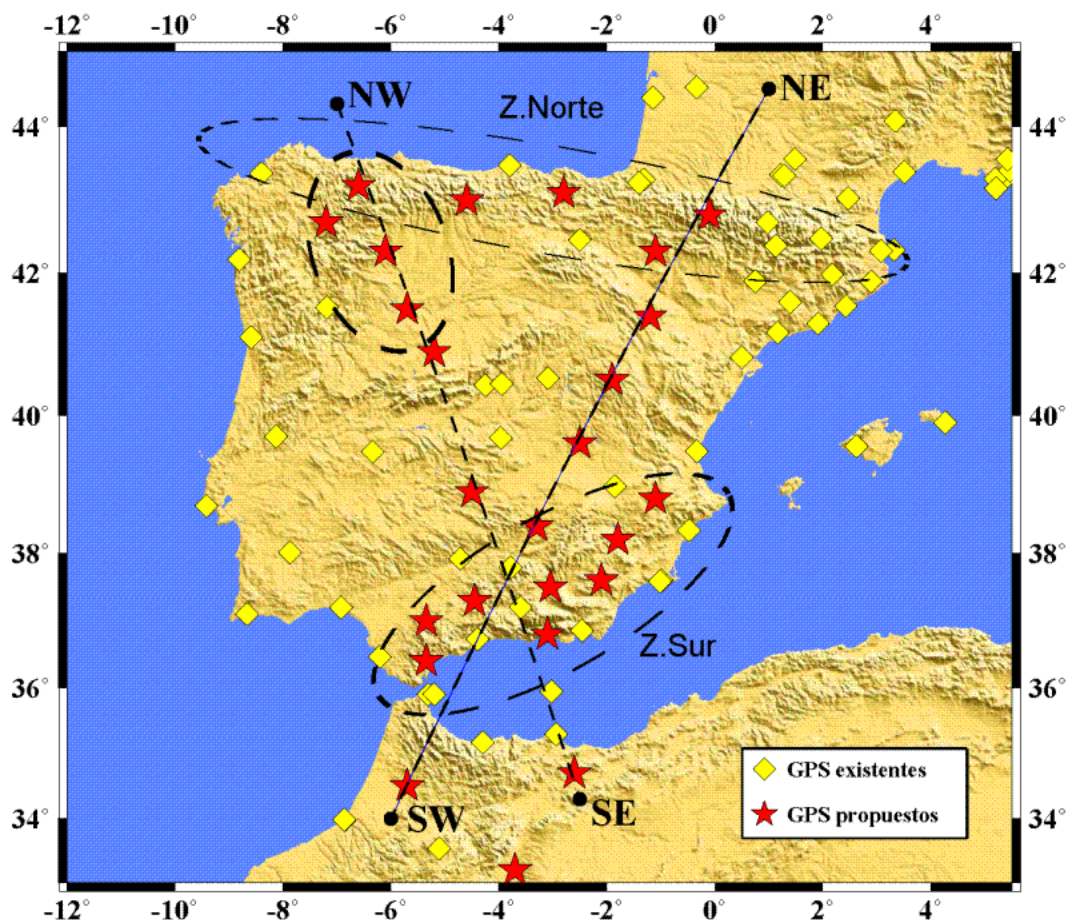
2.5.9. Geodetic GPS measurements of deformation

GPS can be used as a tool for the measurement of the active deformation providing a way of monitoring active tectonics and the detection of relative movements when the recorded deformation is only of cm/y, as is the case of the Iberia Peninsula.

A fundamental objective of this project involves the determination of the present day deformation vectors of the crust. The additional data acquired aims to constrain the present causes of this deformation. This involves the determination of the surface movements and the identification of areas with high stress which can involve an increase of the seismic risk for the population and civil infrastructures.

The project plans to deploy a series of GPS grids, placed in a semi permanent network in strategic areas (the estimated minimum duration of the deployment should be of 30 months of continuous recording). Seasonal variations can be separated from the real displacement values through the daily analysis of the temporal series. The processing software packages that can process such data include GIPSY-OASIS II, JPL, GAMIT or Bernese. This aspect of the present project is similar to the PBO-EarthScope (<http://pboweb.unavco.org/>). This is a research project which is acquiring GPS data along the plate boundary separating the Pacific and North American plates.

One of the objectives of this project is providing new information on the deformation within the Iberia Peninsula and along its boundaries, including North of Africa. Hence, it is proposed to deploy a network of 25 GPS for 30 months recording continuously. Such deployment will cover several transects and strategic areas complemented by the existing instrumentation. In a second half of the project, part of the GPS network will be displaced covering other strategic areas.



Deployment of new GPS stations (red stars) during the first half of the project. Yellow diamonds refer to the existing permanent stations

This type of studies will be complemented by the design of shorter duration localized acquisition actions with additional instrumentation which can densify the network. Due to the small predicted displacements, the localized measuring actions should be repeated periodically in order to be able to get sensible statistical estimates. This will be initiated in this project and the specialized research groups could continue this data acquisition effort within the frame of the TopoEurope initiative which features longer duration.

Kinematic GPS measurements, GPS with ultra-fast sampling (1Hz or more), should provide instantaneous movements for specific points. This provides the movements experienced by a point in the case of a seismic event, for example. In this case GPS receivers can be considered as a seismometer, actually with better stabilization parameters, while high amplitude movements can overdrive conventional seismometers, GPS will record the actual movement of the point.

2.5.10. Determination of the velocity of formation of topographic relief.

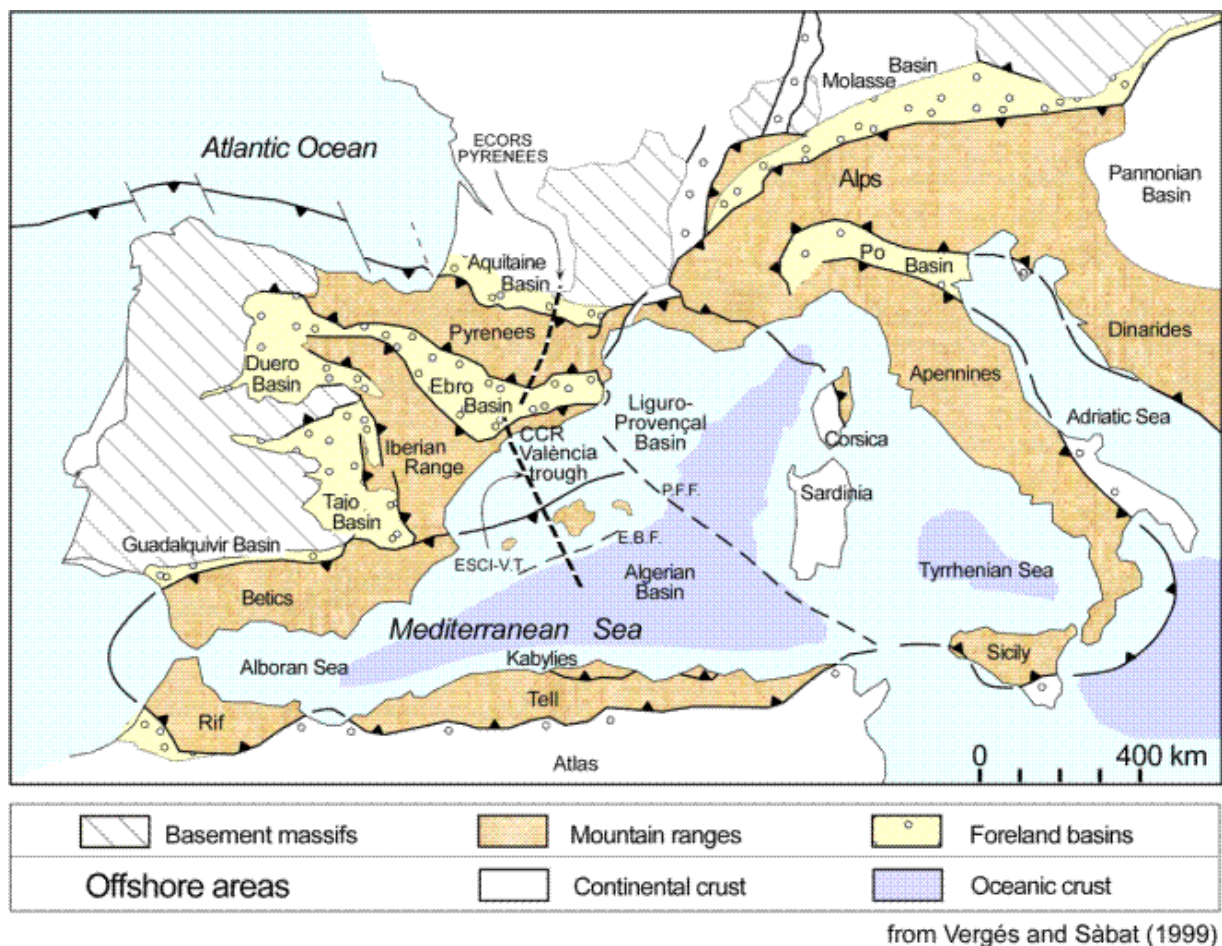
Denudation and uplift velocities in surface exposed areas can be achieved by dating the deposits and geomorphological surfaces. These structural elements in some cases can be replaced in the area where they formed. The distribution of the shallow deposits since Middle Miocene provides constraints in uplift estimates since the time of their formation. Precise indicators of the position of the old coast line during the recent Quaternary, and the beach deposits and “trottoirs” provide knowledge on active structures.

The “calcretas” within the alluvial fans and the fluvial terraces and “travertinos” on top of the drainage network, are features of special interest for this velocity determination. Methods commonly used for dating include cosmogenics in situ (^{10}Be), U/Th, and ^{14}C . Sampling for dating needs to be planned accordingly to complement existing data and it would mostly be done at the end of the first year and start of the second.

2.6. Research Programme in the different Regional domains

The proposed research will be multidisciplinary and dedicated to advancing the understanding of the processes and mechanisms that are, or where active from the surface into the lithospheric mantle in the westernmost segment of the Alpine-Mediterranean orogenic system over the last 30 Ma. It aims to integrate the geophysical and geological techniques described in Section 2.5 over a range of scales to determine the tectonic evolution of the mantle and crust, and the influence that these have had on rock exhumation and the formation of relief in the Iberian plate.

This research will provide an important geological and geophysical database not only for basic research into orogenic processes, but also for climate and hydrosphere research as well as the preparation, prevention, and mitigation of geological risk in tectonically active and highly populated areas.



Tectonic map of the mountain ranges and foreland basins surrounding the Western Mediterranean. The Iberian microplate is located between the Mediterranean and the Atlantic Ocean.

2.6.1. Southern Region: Betic-Rif orogen.

Motivation

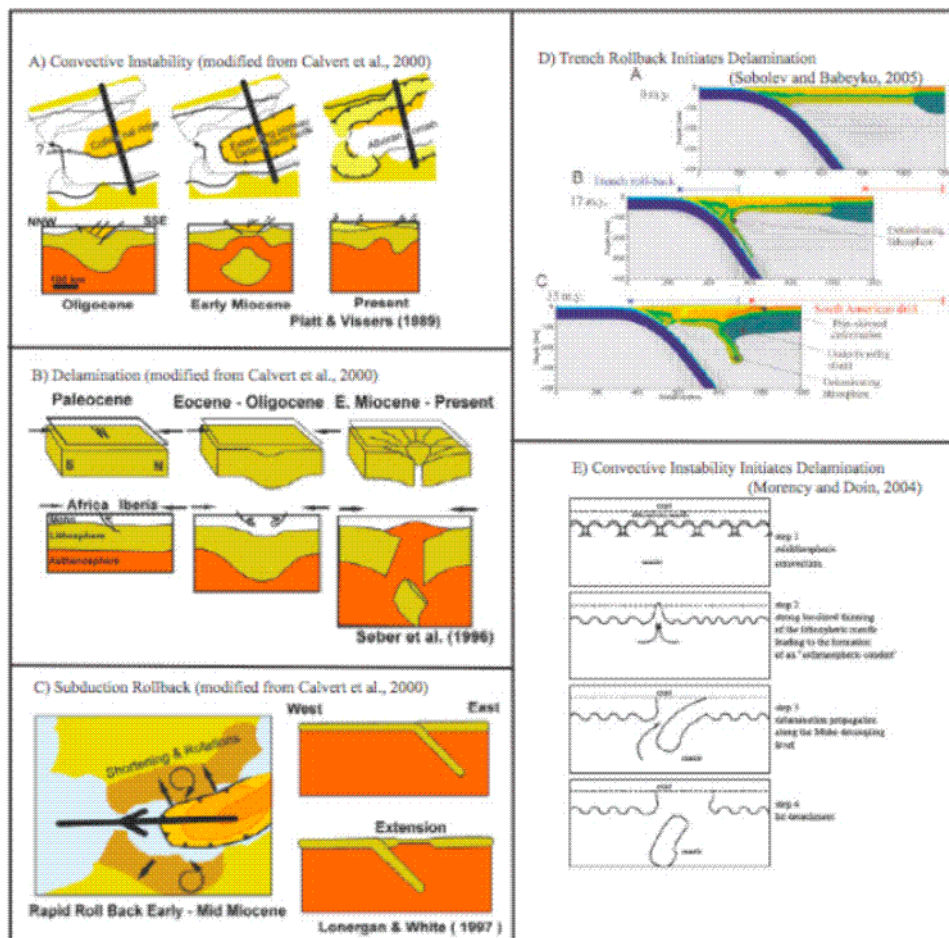
This area constitutes a natural lab which includes a particularly controversial geodynamic scenario. This includes the Betic-Rif orogen, with a so called accretionary prism of the Gulf of Cadiz and the basins and margins of the Alboran Sea and southern Argelian-Balearic basins. This area is a broad zone of contact between the Northern African and Iberian plates which has been actively evolving for the last 30 Ma (since Neogene). The subcrustal lithosphere has a complex evolution within a scenario of relatively oblique convergence between two continental plates. This area is the most seismically active one of the Peninsula, thus it is a natural laboratory to study the intense seismic activity and how it affects the present-day evolution of the relief.

This area has been the topic of interest for national and international Earth scientists for at least the last 20 years and a large number of conceptual tectonic models have been proposed and designed to explain the complex tectonic scenario. These conceptual models include: crustal/lithospheric recycling, delamination, subcrustal mantle erosion, etc. These processes correspond to key steps in the evolution stages of orogenic mountain ranges.

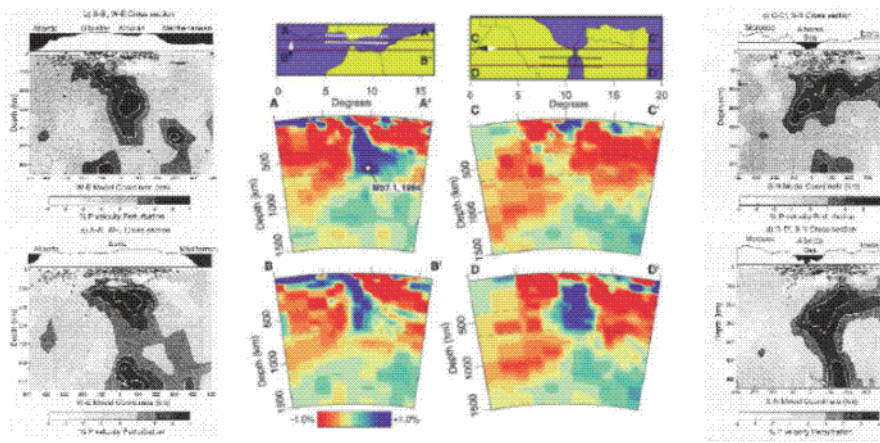
Therefore this geodynamic scenario constitutes a unique natural laboratory in which such dynamic processes and their implications can be studied. As well as the implications-interrelation of these deep rooted processes and the surface evolution, for example relief changes in natural coast line configuration. This area is and has been affected by relatively important vertical movements for the last 10 My, which resulted in climate changes. The international scientific interest over this area has promoted a demonstration project in the area under the acronym of PICASSO (*Program to Investigate Convective Alboran Sea System Overturn*). It is supported by the ILP (*Internacional Lithospheric Program*) (<http://www.ija.csic.es/gt/rc/HTLM/indexPICASSO.html>) and is part of the TopoEurope-EuroArray research initiative. It is important to note that the extent of the processes is not limited to the Alboran basin. DTM data shows a symmetry from the Central Iberian Orogenic System in the Iberian Peninsula, to the Atlas mountain range in Northern Africa. Therefore, the area of study extends toward Morocco. The PICASSO initiative includes international groups (from UK, USA, Ireland, etc), that have already submitted proposals to their own funding agencies to contribute to this initiative, covering different aspects of the multidisciplinary data acquisition effort.

The Gibraltar Arc incorporates two slightly thickened regions under compression, the southern margin of Iberia (Betic Cordillera) and the northern margin of Morocco (Rif Cordillera). The internal part of the arc corresponds to a thinned crust under extension (Alboran Basin) overlying an anomalous mantle. The external part of the arc is characterized by two foreland basins flanking the respective cordilleras (Guadalquivir-Betics, Rharr-Rif) and a set of structures forming the accretionary prism of the Gulf of Cadiz. An extremely important and peculiar aspect is the abrupt change in stress regime between 24 Ma and 8 Ma. During this period, a rapid shift of structures in E-W direction is superimposed to the regional NNW-SSE field associated to the convergence between Africa and Iberia. Most E-W tectonic activity ends during Upper Tortonian, although some authors suggest it continues until present. To explain this configuration, a variety of models have been proposed based on the concepts of slab break-off, subduction, delamination, and convective mantle removal of a crustal root. These geodynamic conceptual models aim to explain the genesis of the system adopting different lithospheric evolutions: extensional collapse or convective removal of the

negative-buoyant (cold and dense) lithospheric root, subduction of an Atlantic oceanic crust, or asymmetric delamination of a continental lithosphere. In this way, some models are related to plate tectonics, whereas others result from a previously thickened mountain belt.



The present lithospheric structure is nowadays a subject of debate. Here, the main scientific open question marks are to discriminate, based on solid evidence, the “geodynamic engine” running the system from Neogene to present, and to establish the processes leading to the recycling of a previously thickened continental lithosphere into the convective mantle. During the last decade, many numerical and analogue models have popped-up showing that such processes can occur under a wide variety of conditions, and the results are therefore not conclusive. Likewise, existing tomographic models of the region (seismic velocity distribution in depth), can be interpreted within both model types.



Though existing data are up to now insufficient to discriminate between models, there are evidences showing that the lithospheric architecture influences significantly on the processes of delamination and mantle convection, as much in terms of lithosphere recycling as in shaping landscape and relief. Such evidences can be summarized as follows:

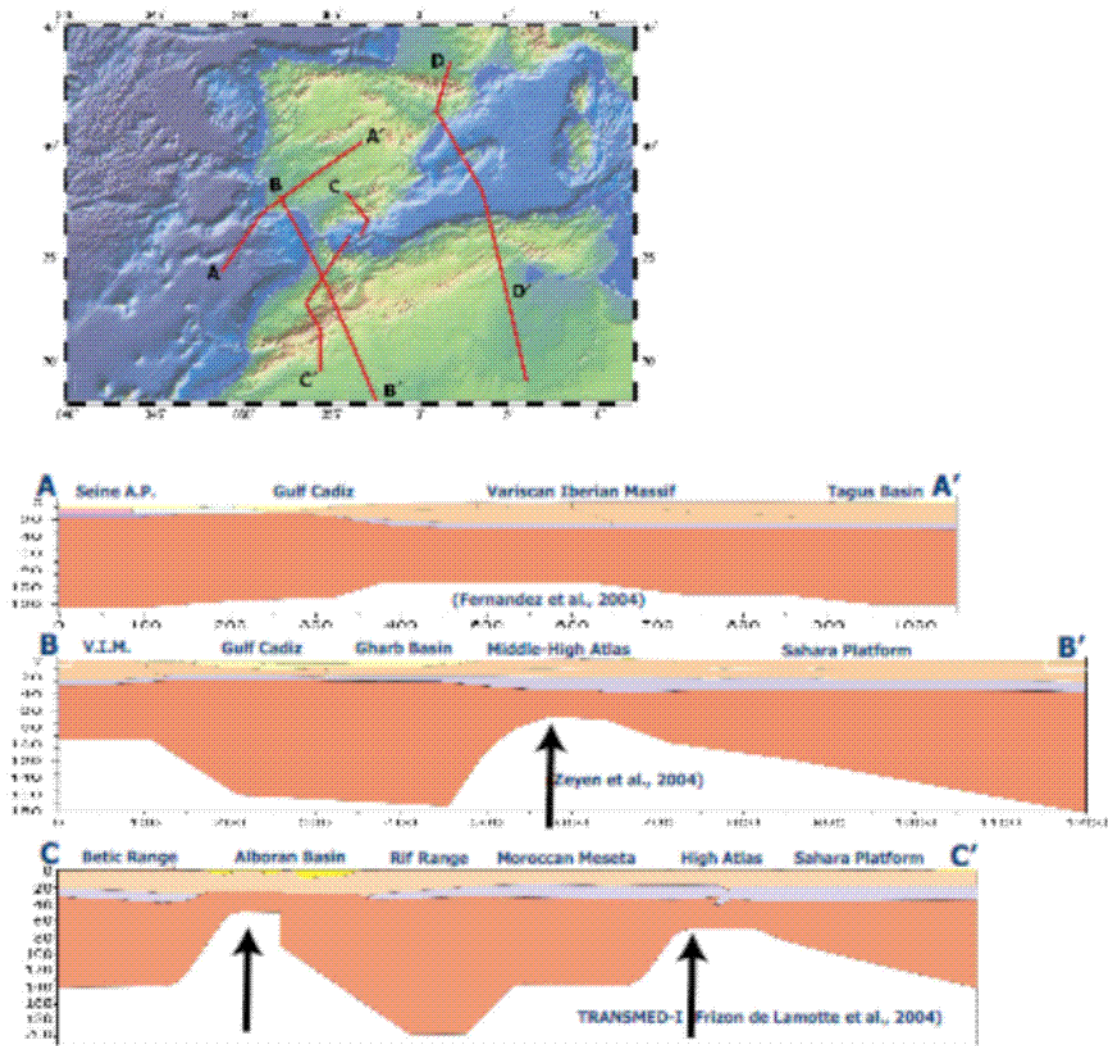
- Seismic activity extends from the base of the crust to the lithospheric-asthenospheric boundary.
- Seismic tomography suggests the presence of a piece of detached lithosphere under the Betic-Rif Cordillera and the Alborán Basin, below 300 km depth.
- The observation of low seismic velocities at the base of the crust, suggests an asthenospheric upwelling which is replacing delaminated lithosphere and leading to decompressional melting and basaltic vulcanism.

Previous work accounting a wide participation of member of our Team indicates that both crust and lithospheric mantle show a notorious thinning from the emerged areas (Gibraltar Arc) towards the Alborán Basin, and also within this basin towards the East, towards the contact with the oceanic crust of the Algerian-Balear Basin. However, the style of thinning changes between segments of the south Iberian margin. The present crustal structure and lithospheric mantle and its lateral variations, strongly control the relief and morphology of the Alborán Basin margins, where a clear correlation is observed between abrupt thinning and the presence of a narrow platform with abrupt continental slopes. Similarly, the existence of recent volcanism and the uplift of the margins during Plioquaternary times, also changing according to the segment, seem to be intimately related to lithospheric anomalies.

Results from tomographic experiments and integrated numerical models support an important lithospheric thickening under the central and western Betics, Gulf of Cadiz and Rharb Basin. Overall, there is a strain partitioning between crustal and lithospheric mantle deformation, suggesting a strong decoupling between both. It is remarkable that the Gulf of Cadiz constitutes the continuation of the Betic-Rif system in the Atlantic, extending, in a broad sense, until the abyssal plains, where the plate boundary is less diffuse. The Gulf of Cadiz concentrates a strong seismic activity with shallow and intermediate earthquakes (60-120 km depth) and has recently been the scenario of important events of geological hazard (submarine slides, tsunamis, etc.).

The Atlas cordillera can be understood as the southernmost product of the Iberian-Africa plate boundary. A remarkable lithospheric thinning has also been described below these mountains, although here not linked to crustal thickening but to mantle convective dynamics, relatively independent of plate tectonics. The uplift of the Atlas and the adjacent plateaus has been

caused both by crustal shortening and mantle upraise, although the chronology of both mechanisms is still poorly constrained.



Lithospheric transects across the contact between the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean. These models result from integrating a variety of regional data.

The present knowledge of the lithospheric structure is very uneven in the Betic-Rif/Alborán system. Seismic refraction experiments starting on the 70's, together with available gravimetric and magnetic data provide only the first-order regional features of crustal thickness and its structure. During the 90's, the ESCI profiles contributed to improve the knowledge of the crustal structures in the eastern Betic Cordillera and Alboran Basin. Available geophysical data are clearly insufficient to determine the lithospheric architecture in the region.

Quantitative information on the exhumation rate of the mountain belts is available based on Zircon and Apatite fission track studies, mostly concentrated on the study of the last stages of the extensional collapse of the orogen. Few studies have tried to find a relationship between the present lithospheric geometry, the localization of active structures, and the formation of relief and landscape evolution. There is a need to better understand the role of thermal anomalies on the localization of recent deformation. It is also necessary to evaluate the source-to-sink sediment budget between the Betic-Rifean mountains and the adjacent basins since Neogene, as well as the possible paleoenvironments and their chronology, and to

establish the tectonosedimentary relationships that are compatible with erosion/sedimentation rates, and with paleogeographic and tectonic reconstructions.

Goals and tasks

The objectives of the research are based on an important set of hypothesis, results and existing data, a relevant part of which have been obtained from previous results of the solicitants who are now promoting an appropriate environment to perform integrated geological and geophysical research and make a qualitative step forward in understanding the geodynamics of the study areas.

The main specific objectives and corresponding tasks are:

- To establish the lithospheric structure of south Iberia and north Africa, and localize the active structures in relation with the plate boundary through integrated analysis of geological and geophysical data of continental and marine areas.
- To determine continuity of structural units of the Betic-Rifean system towards the Gulf of Cadiz, and the nature of the crust and localization of the continent-ocean boundary in the Atlantic margins of south Iberia and north Morocco, and in the Alborán and Algeria basins.
- To evaluate the role of crustal and mantle processes in the evolution of landscape and relief.
- To map cinematic indicators including the strain patterns and its temporal and spatial variations (Middle Miocene to present). Such map will allow testing a variety of numerical and analogue models addressing the style of deformation of the Gibraltar Arc along its different segments.
- To quantify the processes of uplift and subsidence in the Betic-Rif and Atlas cordilleras, the Alborán Basin, and the Gulf of Cadiz by establishing the thermal histories from Zircon and Apatite Fission Tracks data and accounting for constrains from other geochronometers (U-Th/He; ^{39}Ar - ^{40}Ar , U-Pb).
- To study the Quaternary evolution of relief in the Betic-Rif and Atlas cordilleras from the calculation of geomorphological indexes, fluvial-network incision rates and Alborán seafloor sediment transfer.
- To establish relationships between relief development and climate evolution in the southern Iberian Peninsula and northern Morocco since Miocene to present.
- To relate active structures to instrumental seismicity through the localization of seismic loci and inversion of the moment tensor, using the historical seismicity, the paleoseismicity information, with the aim of obtaining seismic parameters of those structures.
- To analyze the evolution of relief associated to the mass movement produced by seismic activity.
- To date the quaternary surfaces and calculate denudation rates with in-situ cosmogenic isotopes.
- To determine the present velocity field of plate tectonic motions using GPS techniques to constrain the characteristics of present deformation at regional scale in the Betic-Rif-Atlas area, and to establish the areas of larger tectonic strain, and their effect on relief development.

- To contribute new data for the assessment of geological hazard (earthquakes, tsunamis, landslides) in the region in relation to tectonically-active structures (detachments, folds, faults).

2.6.2. Central Region: Central System and Iberian Chain

Motivation

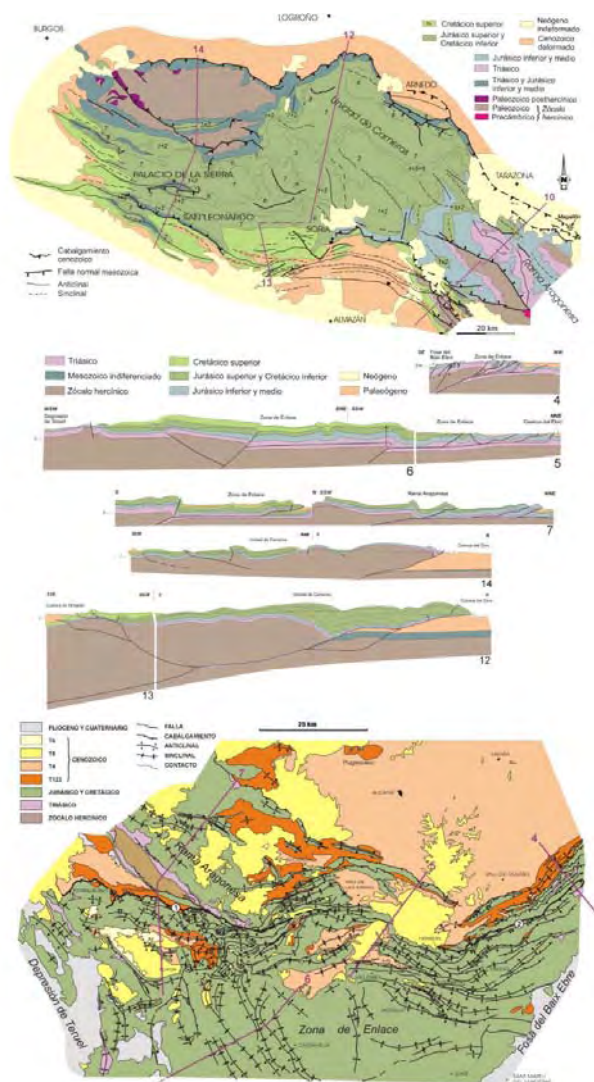
The geodynamic setting of the central Iberian microcontinent includes deformed regions in the plate interior such as the Central System and the Iberian Chain, together with their associated sedimentary basins. This deformation, mainly of Neogene age, is very intense and larger than in other regions of the Alpine foreland in Western Europe.

In the eastern sector (Iberian Chain) Cenozoic deformation took place on previously extended crust during the preceding tectonic episode (Mesozoic Rift), but deformation was also intense enough to strongly affect a region undeformed during the Mesozoic as the Central System. However, intraplate deformation affects a large region whose different tectonic units have suffered shortening of different characteristic styles according to the regional configuration (orientation of the pre-existing Mesozoic extensional basins) and to the stratigraphic sequence (very sensitive to the existence of a Triassic evaporitic layer that acts as a detachment level). The Sierra de Altomira and the connection Iberian Chain-Betics form peripheral systems to the larger chains. Likewise, the western edge of the Duero basin, formed by a Hercynian basement, also experienced deformation and uplift during the Oligocene, closing the sedimentary basin towards the Atlantic, and creating an endorheic basin.

These intraplate deformations converge to an Oligocene-Miocene age. The age of this deformation is younger than the deformation that formed the Pyrenees and has been related with the stress propagation from the plate boundaries (Pyrenees and Betics) towards the interior. Accordingly, the uplift of the Central System and the location of the Duero and Tagus sedimentary basins has been proposed to be formed by a great anticline located between two lithospheric-scale synclines.

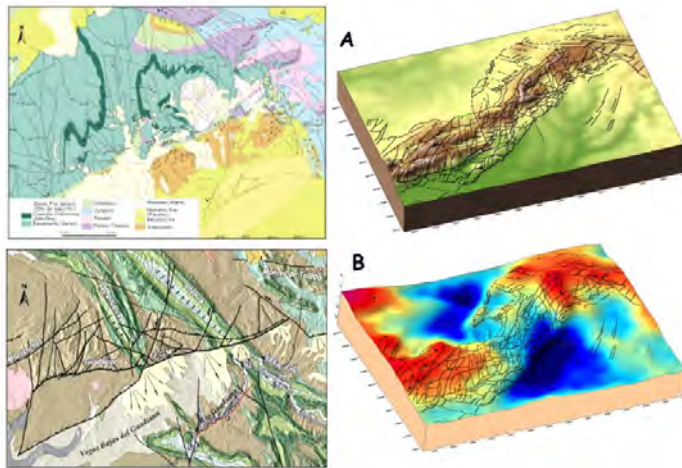
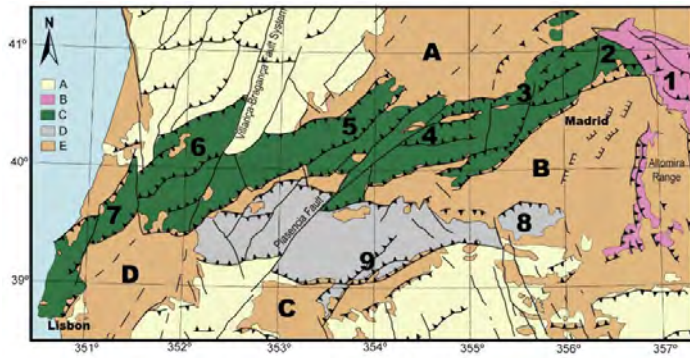
A very relevant feature for the Topo-Iberia program is that the average elevation of the central region of the Iberian Peninsula is the highest of all the European continent, lacking an appropriate geodynamic model that explains the mechanism that currently supports this elevation. Topography in the interior of the Iberian Peninsula is very regular, and this has been interpreted in terms of mechanically decoupled crustal- and lithospheric-scale folds. A difference in the rheological properties is also observed between the East and the Center-East.

Excluding the eastern basins, related to the extension in the Valencia Trough, the chain-chain contacts in the interior of the Iberian microcontinent are thrusts, with cumulative vertical displacements during the Tertiary that in cases exceed 5000 m. Together with this intense compressional deformation, significant strike-slip fault zones exist, with spectacular transpressive structures and sedimentary basins associated to them.



Geological maps and sections through the main segments of the Iberian Chain.

The weak deformation of the folded and faulted systems of the Iberian plate interior, together with reliable dating of the sediments of the Tertiary basins has allowed very detailed studies of Neogene paleostresses. The determination of the direction of these stresses, which have remained relatively constant in the NW-SE to NNW-SSE direction, allows their comparison with the paleoseismological results during the Quaternary and with the historical and instrumental seismicity. In the Central System there is clear evidence of paleoseismic activity, and paleo-thermo-chronometric analyses together with modeling of these data confirm a very intense activity (uplift) since the Late Miocene-Pliocene, which is only exceeded in the Iberian Peninsula by the Betic Chain. The incorporation of these data in thin-sheet numerical models allows to define the regions susceptible to be deformed, their strain rate, and the best fit with the location of the plate boundaries in the south of the Iberian Peninsula (diffuse plate boundary).



Tectonic, topographic and gravity maps of the Central System.

This morpho-tectonic and paleoseismic information can be integrated with available crustal information to discriminate among the possible deformation mechanisms that took place during the Tertiary, and those that are acting in the present-day situation. This crustal information can be summarized using numerical models that combine geoid and gravity data, and topography. This same type of analysis is currently being applied to the Mediterranean-Atlantic transition.

For all these reasons, the interior of the Iberian Peninsula can be considered a natural laboratory, where interactions between tectonic forces, their transmission from the plate boundaries, erosion, sedimentation and final topographic expression can be studied. The amount of available geophysical information in the region is significantly lower than in other areas of the Iberian Peninsula. Therefore, the proposed integrated geophysical and geodetic studies will be key in order to be able to develop models of evolution consistent with the intraplate deformation. Finally, this region is originating a growing interest from international groups to carry out multidisciplinary studies, and has been considered as a priority within the Topo-Europe/EuroArray program.

Planned objectives and tasks

The planned objectives are justified by the high degree of knowledge of the geology and evolution of the central region of the Iberian Peninsula, and also by the lacking knowledge of the crustal and lithospheric structure, particularly when compared with regions such as the Betics and Pyrenees. The study of the deep structure would allow to combine this new information with the geology, and to formulate an appealing integrated formulation that would improve the knowledge of the central part of the Iberian Peninsula.

The following specific objectives and tasks are proposed:

- Deployment of a permanent GPS network in the center of the Iberian Peninsula, along the Duero and Tagus basins and the Central System, that would allow to establish a “stable” reference for the other mountain ranges along the edges of Iberia. This network would be included within the global baseline network for the entire Iberian Peninsula.
- Determine the horizontal deformation velocities in the active tectonic regions in the center of the Iberian Peninsula using the measurements of the GPS network. These data will be integrated with data of geotectonic activity and variations in the hydrographic network.
- Promote the study of the crustal structure in selected areas of this region by seismic reflection profiling. To accomplish this task, complementary funding will be mandatory, coming from specific projects of national or regional agencies.
- Determine the crustal structure of the Central System by means of magnetotelluric soundings through the previously described deep seismic reflection profile. This methodology would allow to corroborate and evaluate the consistence of the results obtained by the seismic and magnetotelluric methods.
- Determine the deep structure using magnetotelluric profiles across the Iberian Chain through a NE-SW transect coincident with an existing reflection profile.
- Determine the crustal structure at different scales through the computation of Bouguer anomaly maps and gravimetric profiles.
- Determine the vertical evolution (uplift and erosion) through the chosen seismic reflection profile using the analysis of apatite and zircon fission tracks, particularly along the large faults that bound the different tectonic units.
- Study of the geometry of the Tagus and Duero foreland sedimentary basins in order to obtain information about the sediment volume, and to perform estimates of the sedimentation rates. These estimations have already been carried out for the Ebro and Guadalquivir basins.
- Determine erosion estimates from reconstruction of topography in deformed regions and sedimentary basins.
- Analysis on the river network in mountain ranges and sedimentary basins, particularly of the distribution of fluvial incisions and their relationship with morpho-structural elements, detection of anomalies along their track, quantification of incision values and slopes, and chronological determinations of incision stages and associated sediments. Knowledge of the fluvial incision in different locations of the central region of the Iberian Peninsula will allow to reconstruct the evolution of uplift and erosion.
- Determination of paleotemperatures from measurements of the reflectance of vitrinite, fluid inclusions, and cristalinity of illite.
- Absolute dating of mica associated to low-grade metamorphic facies.
- Dating of Quaternary surfaces, and determination of denudation rates using cosmogenic isotopes in situ, with special consideration to valleys in the exit from the sedimentary basins of the great rivers Tagus and Duero.
- Determine the evolution of the basin system in the central sector through numerical modeling. This type of analysis has helped to improve our knowledge by constraining the

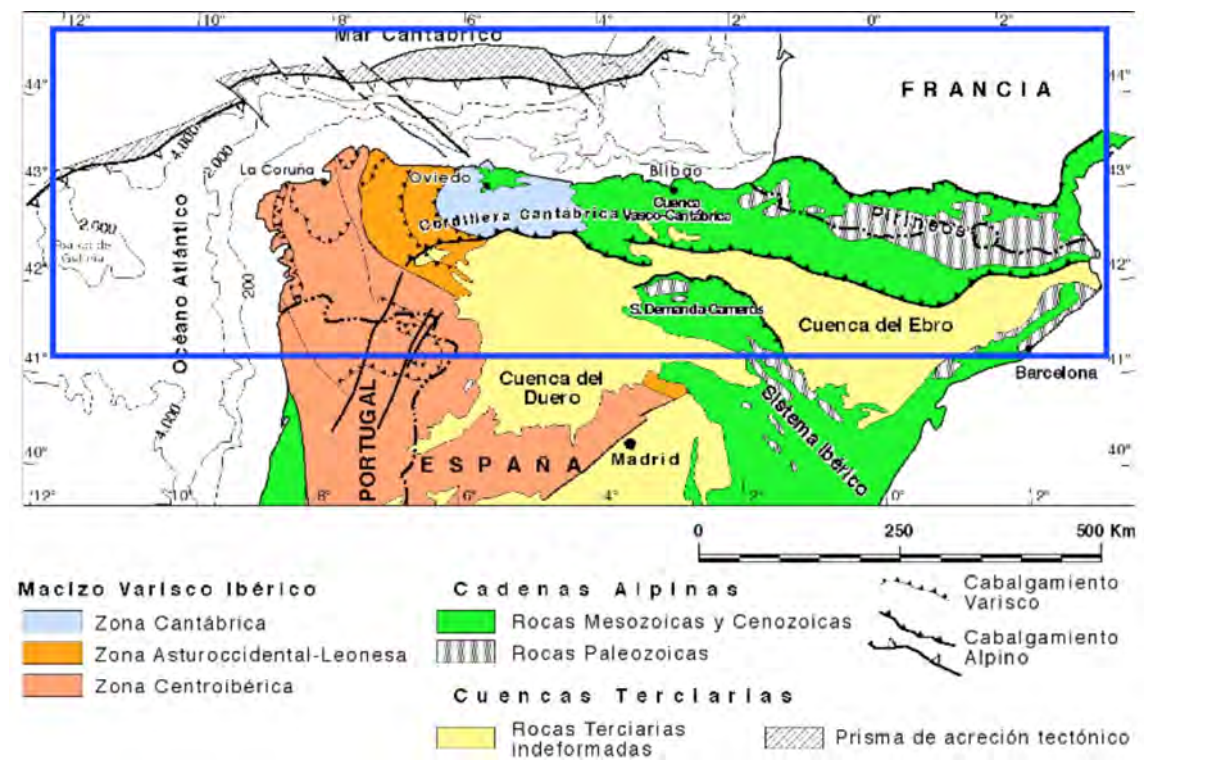
evolution during the past 25 million years of the Ebro basin, and also allows to predict the future evolution of erosion and fluvial captures, as in the case of potential storage sites of radioactive waste.

- Development of a seismotectonic model of the center of the Iberian Peninsula as the basis for the evaluation of seismic hazard in the region. Its relationship with paleoseismicity in the region will allow to recognize changes in the orientation of tectonic stresses.

2.6.3. Northern region: Cantabrian-Pyrenean chain and Cantabric margin

Motivation

This region includes the Pyrenees and the elongation to the west to the Cantabrian chain and the north Iberian continental margin, and it is related to the geodynamic interaction between Iberia and Europe plates. The Cantabrian-pyrenean relief is connected to the south with the northern ending of the Iberian chain and gradually terminates to the west with the Leon Mountains and the Galice massif. These transitions are also included in the studied region, see figure.

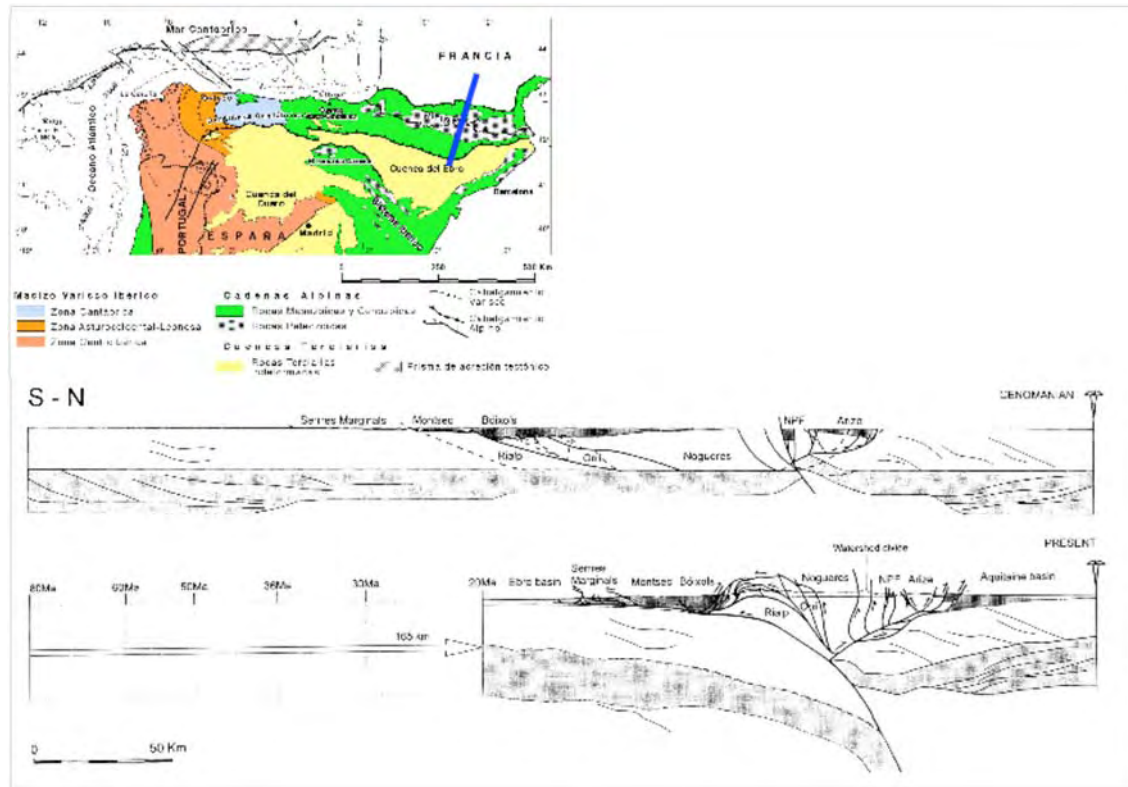


The Cantabrian-Pyrenean chain is a collisional orogen with double vergence, resulting from the convergence of the Iberia and Europe plates since the late Cretaceous to the early Miocene; the shortening is between 90 and 165 km, resulting in a significant crustal thickening.

The northern and southern margins of the mountain chain are defined by several foreland basins very well preserved, which have been filled by sediments resulting from the erosion related to the uplift chain. In the southern flank, there are the Ebro and Duero basins, which contain thick syn-orogenic sedimentary sequences up to 5 km, mainly continental. The Aquitania basin is in the northern flank of the Pyrenees, and it has a thick succession over 5

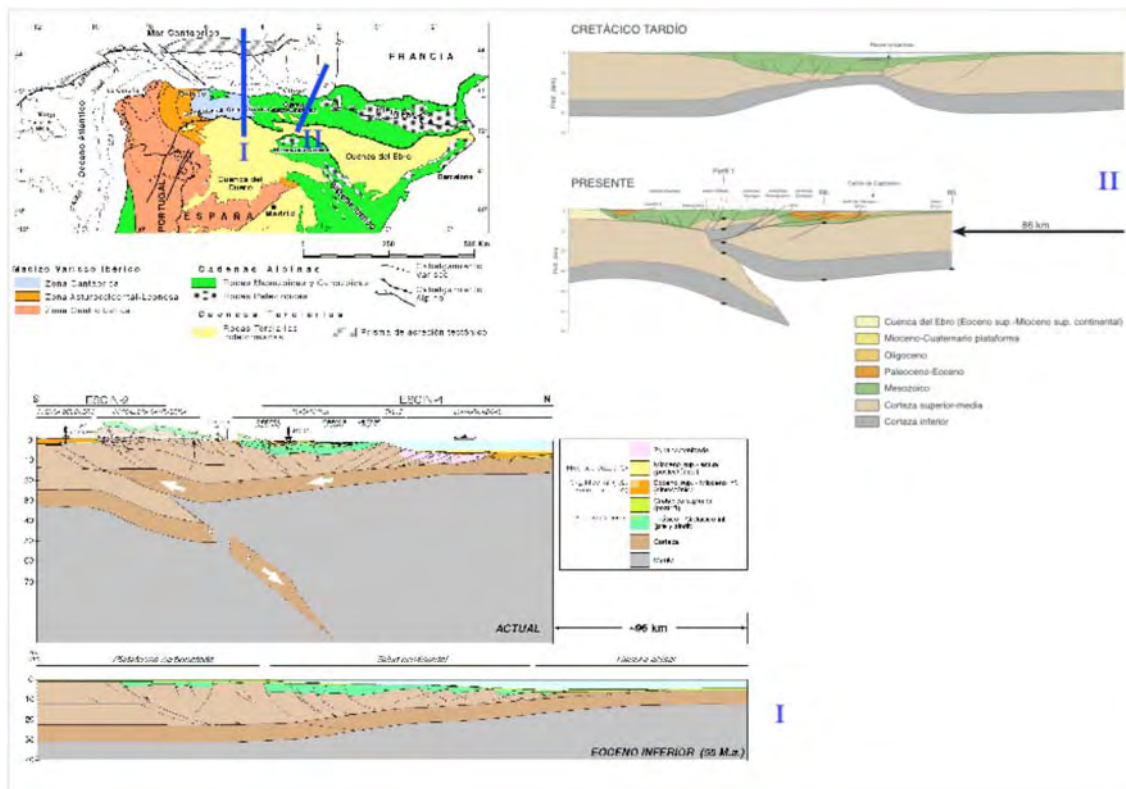
km of Palaeogene sediments, predominantly continental. Contrary, a considerable Cenozoic syn-orogenic sequence of marine sediments is also accumulated to the north of the chain.

This mountain chain, extended 1500 km between the Alps and the Atlantic Ocean, presents very different characteristics along the transect. On the easternmost zone, the compressive orogen is superposed with the Neogene extensional tectonic related with the opening of the Gulf of Leon and the drift of the Corso-Sardo block. The main Pyrenean chain, situated between France and Spain, represents a collisional continental orogen developed on a thinned continental crust, without involving oceanic crust between the plates (see figure).



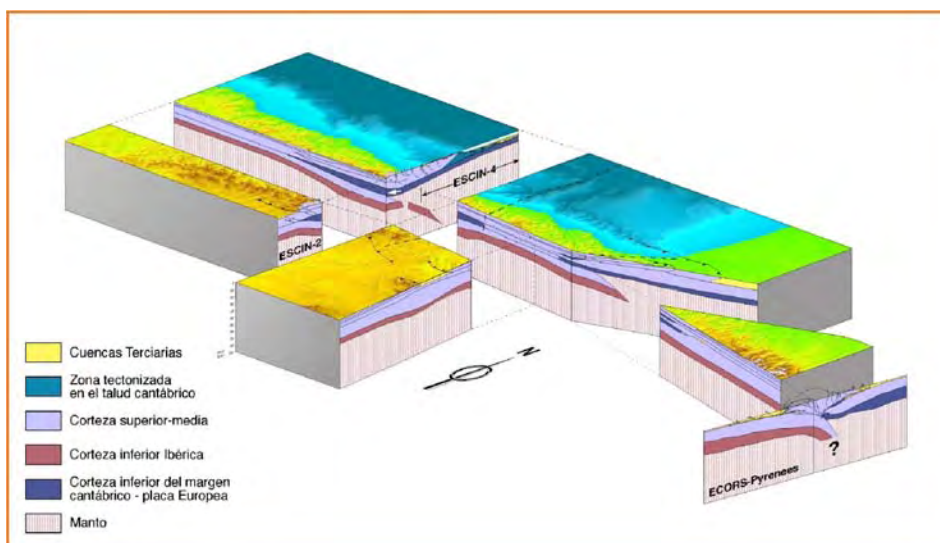
Compensated geologic cross section and its restoration along the ECORS profile. From Beaumont et al. (2000)

More to the west, the Pyrenees tectonism affects the north Iberian continental margin, consequently the Cantabrian chain, the western prolongation of the Pyrenees, represents a coastal mountain chain which involves the very thin continental crust and the oceanic crust of the Bay of Biscay. Although part of the Bay of Biscay crust has been underthrustig underneath the margin, the major deformation has been concentrated on the previously thinned continental crust of the north Iberian margin (see figures).



Crustal transects along the chain and Cantabric margin (I) and Basque-Cantabric basin (II). From Gallastegui (2000) and Pedreira (2004).

The deep seismic reflexion profiles ECORS and ESCIN and other seismic profiles of vertical reflexion and wide angle registered the last decade, together with other geophysical data, show that the crustal structure is characterized by the northern subduction of the medium and lower continental crust of Iberia, induced by the European crust indentation at the level of the medium and upper Iberian crust. The surface expression is a double vergence orogenic indentation between 150 and 200 km wide. The 3D crustal structure of the chain is shown in the follow diagram.

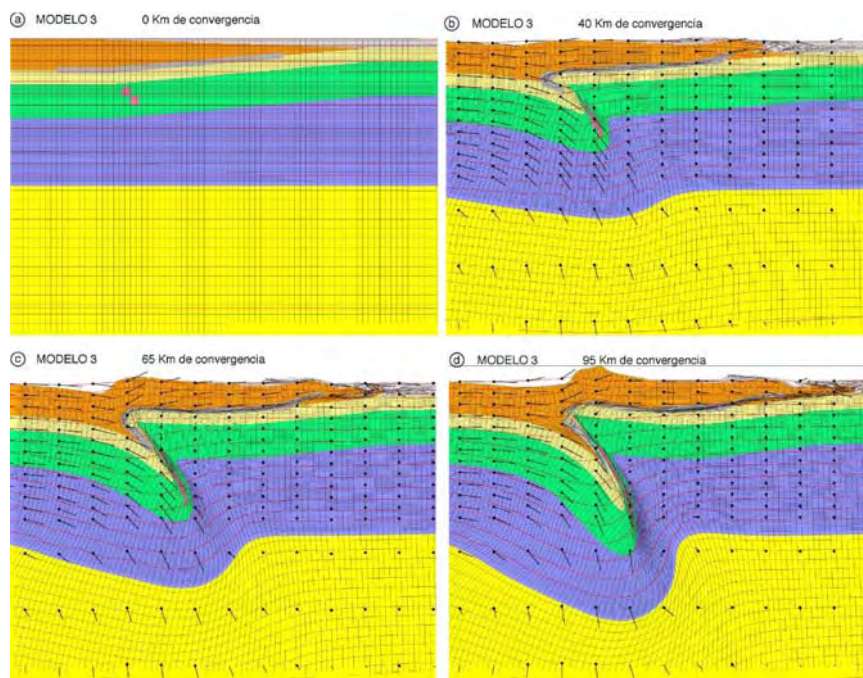


Three-dimensional crustal structure scheme of the transition between the Pyrenees and the Cantabrian chain. From Pedreira (2004)

Although the deep crustal structure is very similar along the chain, the upper crust structure (and the reflex on the present relief) shows important lateral variations which appear to be related with the different original geometry of the Mesozoic sedimentary basins (intra-continental basins to the east, and one oceanic basin to the west). However, it is not clear the exact meaning.

The dimensions of the chain, the moderate magnitude of shortening, the quality of the outcrops, the good preserved syn-orogenic sediments and the relative good knowledge of the lithosphere structure make this chain a perfect natural laboratory to investigate the orogenic processes and the tectonic forces involved on the formation of the intra-continental relief and the costal chain. This chain has a very complete register of the tectonic processes involved on the evolution of the orogenic relief from the initial stages to the present, and for the study of the accretion crustal studies, erosion and sedimentation that occurs during the alpine cycle.

Currently, it is available a good general geological knowledge of the region and new geophysical results from the deep structure, which show large crustal thickness variations, in N-S and E-W, along the north Iberian margin, which in turn is observed on surface topography. However, these data isn't enough to define an accurate model of the interaction between the lithosphere scale deformation processes and the formation of one of the higher reliefs of the Iberian Peninsula. The Cantabrian-Pyrenean topography uplift has involved important processes of mass transfer with the progressive erosion of the relief, incision of deep drainage networks and the sedimentation on the surrounding foreland basins. Some studies have been done, mainly in the central Pyrenees, including quantification of the erosion and sedimentation rates with thermochronological dating and numerical modelling; however, new data is necessary in order to have a better constrain of the final models. The understanding of the uplift-erosion-sedimentation cycle is important for the knowledge of the relief evolution, but also for a better comprehension of the sedimentary basins, which are important natural reservoirs, and to understand and prevent geological risks, as seismicity, landslides or fluvial floods. The Cantabrian-Pyrenean region has always been an attractive area for many researchers and international institutions, and it is also a priority for the presented European proposal EuroArray.



Preliminary thermo-mechanical modelling of the Cantabrian transect. From Pedreira (2004).

Specific objectives and Tasks to do

The general objective of the proposal presented in this region is to characterize the Cantabrian-Pyrenean relief, to find the interaction between the deep processes involved during the alpine convergence and the resulting present relief. To do this, it is required to take into account the interaction between the different styles of present deformation and the influence of some factors as the inherited crustal heterogeneities, the convergence and the surface processes.

The scientific objectives and the tasks to be done are:

- Characterization of the lithosphere structure, north of the Iberian Peninsula and the continental margin, and locate the main active structures related with this plate paleo-boundary, using the actual geophysical data and the new data that will be obtained.
- To find a tectonic evolutive model and its relation with the cantabrian-pyrenean relief, including the continental margin, using integrated analysis of geological and geophysical data from continental and marine zones. Therefore, several balanced geological cross sections across the chain and the continental margin will be studied.
- Elaboration of several crustal transects showing the deformation features and the temporal space evolution (Mesozoic to present), then it will allow to test different numerical modelling to reproduce the mode of formation of the Cantabrian-Pyrenean chain and the north Iberian continental margin.
- Study of the foreland basins structures in order to get information about the sediment volumes and make estimations about the sedimentations rates.
- Study of the western edge of the Cantabrian-Pyrenean chain and the transition to the low relief of the galice massif and N Portugal.
- Study of the transition between the relief of the Cantabrian-Pyrenean and the Iberian chain and the Central System, and its connexion with the deep structure.
- Resolve the geological processes which determine the sedimentary basins formation in the continental margins from the alpine period to the present
- Description of the transition from oceanic to continental crust in the Bay of Biscay.
- Description of the morphostructural elements observed on the present Bay of Biscay seafloor, with special attention to the abrupt relief of the submarine canyons and its relation with deep structures.
- Dating tectonic activity in faults, underthrusting and other major structures, studying the relation between the structures and the syn-orogenic sediments in order to obtain information about the ages and the tectonic accretion velocities.
- Quantify the uplift and subsidence processes of the cantabrian-pyrenean chain using the thermal history obtained from apatite and zircon fission tracks and taking into account other geochronometers (U-Th/He; ^{39}Ar - ^{40}Ar , U-Pb)
- Description of the quaternary relief evolution of the Cantabrian-Pyrenean chain using several geomorphologic indexes, incision rates of the drainage network and the seafloor morphology of the Cantabrian Sea.

- Analysis of the cantabro-atlantic fluvial network, studying the fluvial incisions distribution and its relation with the morphostructural elements, quantify the incision and steepness, and chronological description of the incision stages and related sediments.
- Three-dimensional geological modelling of the main geologic structures, integrating surface and subsoil data, to obtain representative tectonic models using geological modelling applications as Geosec 3D and 3D Move
- To find the interaction between the cantabrian-pyrenean relief evolution and the climate change from Palaeogene to the present.
- Description of a seismotectonic model which relates the active structures with the measured seismicity, the historical seismicity and the paleoseismicity to obtain the seismic parameters.
- Study of the erosion surface of the Eastern Pyrenees and its interaction with the Neogene extensional tectonics.
- Dating of the quaternary surfaces and calculate the denudation rates using the cosmogenic isotopes.
- Obtain the present displacement velocity field using GPS techniques to know the characteristics of the present regional deformation of the Cantabrian-Pyrenean chain, Galice massif and Duero plateau, and establishing the areas with higher present tectonic movements and the relation with the relief evolution.
- Integration of all data in an evolutive model for the different sectors of the Cantabrian-Pyrenean chain and the Cantabrian continental margin, in order to be used as contrast with the numerical model predictions,
- Analysis of the comparative influence of the deep processes (crust and mantle) and the surface processes on the relief configuration.
- Construction of a seismotectonic model for the north Iberian Peninsula as a first step to evaluate the seismic hazard of the region.

On the other hand, research on surface processes and its interaction with the tectonic activity will have a strong impact on the georeferenced data. The geographic information systems (GIS) offer the possibility to organize and manipulate the georeferenced data bases of big dimensions. Therefore, a geodatabase GIS will be used in all tasks, which permits to do analysis and calculus linking several variables and, therefore, it is a good way to test the geological models and to develop new ideas.

2.6.4. Selected references

- Abellán, A ; J.M. Vilaplana, J. Martínez., in press. Terrestrial laser scanner application in rockfall hazard assessment (Vall de Núria, Eastern Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*.
- Alonso, J. L., Pulgar, J. A., García-Ramos, J. C. y Barba, P. (1996): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). In: *Tertiary basins of Spain: The Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P. F. Friend y C. J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge: 214-227.
- Álvarez-Marrón, J., Pérez-Estaún, A., Dañobeitia, J. J., Pulgar, J., Martínez Catalán, J. R., Marcos, A., Bastida, F., Ayarza Arribas, P., Aller, J., Gallart, J., González Lodeiro, F., Banda, E., Comas, M. C., Córdoba, D. (1996): Seismic structure of the northern continental margin of Spain from ESCIN deep seismic profiles. *Tectonophysics*, pp. 355-363.
- Álvarez-Marrón, J., Rubio, E., Torné, M. (1997c): Subduction-related structures in the North Iberian Margin. *J. Geophys. Res.*, 102, B10, pp. 22497-22511.
- Andeweg, B., G. De Vicente Muñoz, S. Cloething, and J. M. M. Giner, A., 1999, Local stress fields and intraplate deformation of Iberia: variations in spatial and temporal interplay of regional stress sources: *Tectonophysics*, v. 305, p. 153-164.
- Babault, J.; Van Den Driessche, J.; Bonnet, S.; Castellort, S.; Crave, A., 2005. Origin of the highly elevated Pyrenean peneplain. *Tectonics*, 24 (2):
- Banda, E., and J. Ansoorge, 1980, Crustal structure under the central and eastern part of the Betic Cordillera, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 63, 515-532.
- Barruol, G., Souriau, A., Vauchez, A., Diaz, J., Gallart, J., Tubia, J., Cuevas, J. (1998): Lithospheric anisotropy beneath the Pyrenees from shear wave splitting. *Journal of Geophysical Research*, 103 (B12) pp. 30039-30054.
- Beaumont, C., Fullsack, P., Hamilton, J. (1992): Erosional control of active compressional orogens. In: *Thrust Tectonics* (K.R-McClay, Ed.), Chapman & Hall, London, pp. 1-18.
- Beaumont, C; Kamp, P. J. J; Hamilton, J. y Fullsack, P (1996), The continental collision zone, South Island, New Zealand: Comparison of geodynamical models and observations. *J. Geophys. Res.*, 101 (B2): 3333-3359
- Beaumont, C., J. A. Muñoz, J. Hamilton, and P. Fullsack, 2000, Factors controlling the Alpine evolution of the central Pyrenees inferred from a comparison of observations and geodynamical models: *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 8121-8145.
- Beaumont, C., Jamieson, R. A., Nguyen, M. H. y Lee, B. (2001): Himalayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation. *Nature*. 414: 738-742.
- Bijwaard, H. and W. Spakman, 1998, Closing the gap between regional and global travel time tomography, *Journal of Geophysical Research*, 103, 30555-30078.
- Bijwaard, H. and W. Spakman, 2000, Non-linear global P-wave tomography by iterated linearized inversion, *Geophys. J. Int.*, 141, 71-82.
- Billen, M. I. and G. A. Houseman, 2004, Lithospheric instability in obliquely convergent margins: San Gabriel Mountains, southern California, *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-13.
- Bird, P. (1988): Formation of the Rocky Mountains, western United States: A continuum computer model. *Science*, 238: 1501-1507.
- Boillot, G., Dupleube, P. A., Malod, J. (1979): Subduction and tectonics on the continental margin of Northern Spain". *Mar. Geol.*, 32, pp. 53-70.
- Boillot, G., Malod, J. (1988): The north and northwest Spanish continental margin: a review. *Rev. Soc. Geol. España*, 1 (3-4), pp. 295-316.
- Bois, C., Gariel, O., Lefort, J. P., Rolet, J., Brunet, M. F., Masse, P. y Olivet, J. L. (1997b): Geologic contribution of the Bay of Biscay deep seismic survey: a summary of the main scientific results, a discussion of the open questions and suggestions for further investigation. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 171: 193-209
- Bommer, J.J., Rodríguez, CE, 2002. Earthquake-induced landslides in Central America. *Engineering Geology* 63, 189-220
- Bostock, M.G., S. Rondenay, and D.S. Shragge, Multiparameter two-dimensional version of scattered teleseismic body waves, 1. Theory for oblique incidence, *J. Geophys. Res.*, 106, 30771-30782, 2001.
- Brey G. P. and T. Kohler, 1990, Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers, *Journ. Petrol.* 31, 1353-1378.
- Brocard, G.Y., van der Beek, P.A., Bourlès, D.L., Siame, L.L. Mugnier, J.-L., 2003. Long-term fluvial incision rates and postglacial river relaxation time in the French Western Alps from ¹⁰Be dating of alluvial terraces with assessment of inheritance, soil development and wind ablation effects. *Earth and Planetary Science Letters* 209, 197-214.
- Brown, R.L., Beaumont, C. y Willett, S. (1993): Comparison of the Selkirk fan structure with mechanical models: implications for a thin-skinned interpretation of the southern Canadian Cordillera, *Geology*, 21: 1015-1018.
- Bufo, E., M. Bezzeghoud, A. Udias and C. Pro, 2004, Seismic Sources on the Iberia- African Plate Boundary and their Tectonic Implications, *Pure and Applied Geophysics*, 161, 623-646.
- Burbank, D.W., C. Puigdefábregas, J.A. Muñoz (1992a): The chronology of the Eocene tectonic and stratigraphic development of the eastern Pyrenean Foreland Basin, NE Spain, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104, pp. 1101-1120.
- Burbank, D.W., Vergés, J., Muñoz, J.A., Bentham, P. (1992b): Coeval hindward and forward-imbrication thrusting in the central southern Pyrenees, Spain: Timing and rates of shortening and deposition, *Geological Society of America Bulletin* 104, pp. 3-17.

- Cabal, J. (1993): *Régimen térmico en el noroeste de la Península Ibérica y sus márgenes continentales: flujo de calor y estructura térmica de la litosfera*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 186 pp.
- Cabrera, L., Ferrús, B., Sáez, A., Santanach, P., Bacelar, J. (1996): Onshore Cenozoic strike-slip basins in NW Spain. In: *Tertiary basins of Spain: The Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P. F. Friend y C. J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge: 247-254.
- Cámara, P. (1997): The Basque-Cantabrian basin's Mesozoic tectono-sedimentary evolution. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 171: 187-191
- Cámara, P., Klimowitz, J. (1985): Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica. *Estudios Geol.*, 41, pp. 39-404.
- Calais, E., Mattioli, G., DeMets, C., Nocquet, J. M., Stein, S., Newman, A., and Rydelek, P., 2005, Tectonic strain in plate interiors?: *Nature*, v. 438, no. 7070, p. E9-E10.
- Calvert, A., E. Sandvol, D. Seber, M. Barazangi, S. Roecker, T. Mourabit, F. Vidal, G. Alguacil and N. Jabour, 2000, Geodynamic evolution of the lithosphere and upper mantle beneath the Alboran region of the western Mediterranean: Constraints from travel time tomography, *Journal of Geophysical Research*, 105, 10871-10898.
- Carbonell, R., F. Simancas, C. Juhlin, J. Pous, A. Perez-Estaun, F. Gonzalez-Loderio, G. Munoz, W. Heise and P. Ayarza, 2004, Geophysical evidence of a mantle derived intrusion in SW Iberia, *Geophysical Research letters*, 31, 1-4.
- Casas Sainz, A. M., and C. Faccenna, 2001, Tertiary compressional deformation of the Iberian plate: *Terra Nova*, v. 13, p. 281-288.
- Cavazza, W., F. Roure, W. Spakman, G. M. Stampfli, P. A. Ziegler and the TRANSMED Project Working Groups, 2004, The TRANSMED Atlas: geological-geophysical fabric of the Mediterranean region – Final report of the project, *Episodes*, 27, 245-254.
- Chery, J., Vilotte, J. P. y Daignières, M. (1991): Thermomechanical evolution of a thinned continental lithosphere under compression: implications for the Pyrenees. *J. Geophys. Res.*, 96 (B3): 4385-4412.
- Choukroune, P., Ecors Team (1989): The ECORS Pyrenean deep seismic profile reflection data and the overall structure of an orogenic belt. *Tectonics*, 8 (1), pp. 23-39.
- Cloetingh, S., P. A. Ziegler, F. Beekman, P. A. M. Andriessen, L. Matenco, G. Bada, D. García-Castellanos, N. Hardebol, P. Dèzes, and D. Sokoutis, 2005, Lithospheric memory, state of stress and rheology: neotectonic controls on Europe's intraplate continental topography: *Quaternary Science Reviews*, v. 24, p. 241-304.
- Cockburn, H.A.P., Summerfield, M.A., 2004. Geomorphological applications of cosmogenic isotope analysis. *Progress in Physical Geography* 28, (1), 1-42.
- Comas, M. C., J. P. Platt, J. I. Soto and A. B. Watts, 1999, 44. The origin and Tectonic History of the Alboran Basin: Insights from Leg 161 Results, *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, 161, 555-580.
- Daignières, M., Cabissole, B. De, Gallart, J., Hirn, A., Suriñach, E., Torné, M. (1989): Geophysical constraints on deep structure along the ECORS Pyrenees line. *Tectonics*, 8 (5), pp. 1051-1058.
- de Jonge, M. R., M. J. R. Wortel, W. Spakman, 1994, Regional scale tectonic evolution and the seismic velocity structure of the lithosphere and upper mantle: The Mediterranean region, *Journal of Geophysical Research*, 99, 12091-12108.
- Derégnacourt, D., Boillot, G. (1982): Structure géologique du Golfe de Gascogne. *Bull. Bur. Rech. Geol. Min. Fr.*, 2 (1), pp. 149-178.
- Dewey, J. F., M. L. Helman, E. Truco, D. H. W. Hutton, and S. D. Knott, 1989, Kinematics of the Western Mediterranean, in M. P. Coward, D. Dietrich, and R. G. Park, eds., *Alpine Tectonics*: Geological Society Special Publication Classics: London, The Geological Society, p. 265-283.
- Díaz, J., A. Hirn, J. Gallart and B. Abalos, 1996, Upper-mantle anisotropy in SW Iberia from long-range seismic profiles and teleseismic shear-wave data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 95, 153-166.
- Díaz, J., Gallart, J., Hirn, A. and Paulssen, H., 1998. Anisotropy beneath the Iberian Peninsula: the contribution of the ILIHANARS broad-band experiment. *Pageoph* 151, 395-405.
- Díaz, J., Gallart, J., Pedreira, D., Pulgar, J.A., Ruiz, M., López, C., González-Cortina, J.M., 2003. Teleseismic imaging of alpine crustal underthrusting beneath N Iberia. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 30, NO. 11, 1554, doi:10.1029/2003GL017073.
- Díaz, J., Gallart, J., Ruiz, M., Pulgar, J.A López-Fernández, C. and González-Cortina, J.M., 2006. Probing seismic anisotropy in North Iberia from shear wave splitting.. Accepted in *Phys. Earth Planet. Int.*
- Dixon, T. H., 1991, An introduction to the Global Positioning System and some geological applications: *Reviews of Geophysics*, v. 29, no. 2, p. 249-76.
- Dragert, H., Wang, K., and James, T., 2001, A silent slip event on the deeper Cascadia subduction interface: *Science*, v. 292, no. 5521, p. 1525-1528.
- Duggen, S., K. Hoernle, P. van den Bogaard and C. Harris, 2004, Magmatic evolution of the Alboran region: The role of subduction in forming the western Mediterranean and causing the Messinian Salinity Crisis, *Earth and Planetary Science Letters*, 218, 91- 108.
- ECORS Pyrenees Team (1988): The ECORS deep seismic survey across the Pyrenees. *Nature*, 311, pp. 508-511.
- Ellis, S., Beaumont, C., Jamieson, R. y Quinlan, G. (1998): Continental collision including a weak zone - the vise model and its application to the Newfoundland Appalachians, *Can. Jour. Earth Sciences*, 35: 1323-1346.
- Engeser, T., Schwenke, W. (1986): Towards a new concept of the tectonogenesis of the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129, pp. 233-242.

- Fernandes, R. M. S., B. A. C. Ambrosius and R. Noomen, L. Bastos, M. J. R. Wotel, W. Spakman and R. Govers, 2003, The relative motion between Africa and Eurasia as derived from ITRF2000 and GPS data, *Geophysical Research Letters*, 30, 1-5.
- Fernandez, M., I. Marzan, A. Correia and E. Ramalho, 1998, Heat flow, heat production, and lithospheric thermal regime in the Iberian Peninsula, *Tectonophysics*, 291, 29-53.
- Fernández, M., I. Marzán, and M. Torne, 2004, Lithospheric transition from the Variscan Iberian Massif to the Jurassic oceanic crust of the Central Atlantic: *Tectonophysics*, v. 386, p. 97-115.
- Fernández-Viejo, G., Gallart, J., Pulgar, J.A., Córdoba, D., Dañobeitia, J.J. (1998): Crustal transition between continental and oceanic domains along the North Iberian margin from wide angle seismic and gravity data. *Geophysical Research Letters*, 25 (23), pp. 4249-4252.
- Fernández-Viejo, G., Gallart, J., Pulgar, J.A., Córdoba, D., Dañobeitia, J.J. (2000): Seismic signature of Variscan and Alpine tectonics in NW Iberia: Crustal structure of the Cantabrian Mountains and Duero basin. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B2), pp. 3001-3018.
- Fitzgerald, P. G., Muñoz, J. A., Coney, P. J., and Baldwin, S. L., 1999. Asymmetric exhumation across the Pyrenean orogen: implications for the tectonic evolution of collisional orogens: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 173, p. 157-170.
- Fullsack, P. (1995): An arbitrary Lagrangian-Eulerian formulation for creeping flows and its application in tectonic models. *Geophys. J. Int.* 120: 1-23.
- Gallart, J., Banda, E., Daignières, M. (1981): Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and transition to the North Pyrenean Zone. *Ann. Géophys.*, 37, pp. 457-480.
- Gallart, J., Daignieres, M., Gagnepain-Beyneix, J., Hirn, A. (1985): Relationship between deep structure and seismicity in the Western Pyrenees. *Annales Geophysicae*, 3, 2, pp. 239-248.
- Gallart, J., Fernández-Viejo, G., Díaz, J., Vidal, N., Pulgar, J. A., (1997): Deep structure of the transition between the Cantabrian Mountains and the North Iberian margin from wide-angle ESCI-N data. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (4), pp. 365-382.
- Gallart, J., J. Díaz, A. Nercessian, A. Mauffret, and T. Dos Reis, 2001, The eastern end of the Pyrenees: Seismic features at the transition to the NW Mediterranean: *Geophysical Research Letters*, v. 28, p. 2277-2280.
- Gallastegui, J. (2000): Estructura cortical de la Cordillera y Margen Continental Cantábricos: Perfiles ESCI-N. *Trabajos de Geología*, 22: 9-234.
- García-Castellanos, D., M. Fernandez and M. Torne, 2002, Modeling the evolution of the Guadalquivir foreland basin (southern Spain), *Tectonics*, 21, 1-17.
- García-Castellanos, D., J. Vergés, J. Gaspar-Escribano, and S. Cloetingh, 2003, Interplay between tectonics, climate, and fluvial transport during the Cenozoic evolution of the Ebro Basin (NE Iberia): *Journal of Geophysical Research*, v. 108, B7, 2347, p. 10.1029/2002JB002073.
- Gibbons, W., and T. Moreno, eds., 2002, *The Geology of Spain*, Geological Society, London, 1-649 p.
- Gosse, J.C., Phillips, F.M., 2001. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application, *Quaternary Science Reviews* 20, 1475-1560.
- Grimaud, S., Boillot, G., Collette, B. J., Maffret, Miles, P. R., Roberts, D. B., (1982): Western extension of the Iberian-European plate boundary during the Early Cenozoic (Pyrenean) convergence: A new model. *Marine Geology*, 45, pp. 62-77.
- Gueguen, E., C. Doglioni and M. Fernandez, 1998, On the post-25 Ma geodynamic evolution of the western Mediterranean, *Tectonophysics*, 298, 259-269.
- Guimerà, J., 1984, Paleogene evolution of deformation in north eastern Iberian Peninsula: *Geological Magazine*, v. 121, p. 413-420.
- Guimerà, J., González, A., 1998. El relieve de la Cadena Ibérica como un producto de la compresión alpina. *Geogaceta*, 23:
- Gutscher, M. -A., J. Malod, J.-P. Rehault, I. Contrucci, F. Klingelhoefer, L. Mendes- Victor and W. Spakman, 2002, Evidence for active subduction beneath Gibraltar, *Geology*, 30, 1071-1074.
- Herraiz, M., De Vicente., G., Lindo-Ñaupari, R., Giner, J., Simón, J.I., González-Casado, J.M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascua, M.A., Cicuéndez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, A.L., Ramírez, M., Lucini, M., 2000. The recent (upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, v. 19, 762-786.
- Hetzl, R., Niedermann, S., Tao, M., Kubik, P.W., Ivy-Ochs, S., Gao, B., Strecker, M.R., 2002. Low slip rates and long-term preservation of geomorphic features in Central Asia. *Nature* 417, 428-432.
- Hollenstein, C., Geiger, A., Kahle, H. G., and Veis, G., 2006, CGPS time-series and trajectories of crustal motion along the West Hellenic Arc: *Geophysical Journal International*, v. 164, no. 1, p. 182-191.
- Houseman, G. A., D. P. McKenzie, and P. Molnar, 1981, Convective Instability of a Thickened Boundary Layer and its Relevance for the Thermal Evolution of Continental Convergent Belts, *Journal of Geophysical Research*, 86, 6115-6132.
- Huerta, A., Parés, J.M., Cabrera, L., Ferrús, B., Sáez, A. (1996): Deformación contractiva del marge noroeste ibérica: Implicaciones tectónicas del estudio paleomagnético de la Cuenca de As Pontes (NW de España). *Geogaceta*, 20, pp. 1014-1016.
- Huismans, R. S. y Beaumont, C. (2002): Asymmetric lithospheric extension: the role of frictional-plastic strain softening inferred from numerical experiments. *Geology*, 30, (3): 211-214.
- Huismans, R. S. y Beaumont, C. (2003): Symmetric and asymmetric lithospheric extension: Relative effects of frictional-plastic and viscous strain softening. *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, No. B10, 2496

- ILIHA DSS Group, 1993, A deep seismic sounding investigation of lithospheric heterogeneity and anisotropy beneath the Iberian Peninsula, *Tectonophysics*, 221, 35- 51.
- Itakura Y., Inaba, H., and Sawada, T., 2005.. A debris-flow monitoring devices and methods bibliography. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 971-977..
- Jabaloy, A., J. Galindo-Zaldívar, and F. González-Lodeiro, 2002, Palaeostress evolution of the Iberian Peninsula (Late Carboniferous to present-day): *Tectonophysics*, v. 357, p. 159-186.
- Jimenez-Munt, I., M. Fernandez, M. Torne and P. Bird, 2001, The transition from linear to diffuse plate boundary in the Azores-Gibraltar region: results from a thin-sheet model, *Earth & Planetary Science Letter*, 192, 175–189.
- Juez-Larré, J., and P. A. M. Andriessen, 2002, Post Late Paleozoic tectonism in the southern Catalan Coastal Ranges (NE Spain), assessed by apatite fission-track analysis: *Tectonophysics*, v. 349, p. 113-129.
- Khazaradze, G., and Klotz, J., 2003, Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-Central Andes: *Journal of Geophysical Research*, v. 108 (B6), p. 2289-2306, doi: 10.1029/2002JB001879.
- Lewis, C. J., J. Vergés, and M. Marzo, 2000, High mountains in a zone of extended crust: Insights into the Neogene-Quaternary topographic development of northeastern Iberia: *Tectonics*, v. 19, p. 86-102.
- Loneragan, L. and N. White, 1997, Origin of the Betic-Rif mountain belt, *Tectonics*, 16, 504-522.
- Martinez-Catalan, J.R., Ayarza, P., Pulgar, J.A., Pérez-Estaún, A., Gallart, J., y otros. (1997): Results from the ESCI-N3.3 marine deep seismic profile along Cantabrian continental margin *Revista Sociedad Geológica España* vol. 8 (4), 341-354
- Martinez-Martinez, J. M., J. I. Soto and J. C. Balanya, 1997, Crustal decoupling and intracrustal flow beneath domal exhumed core complexes, Betics (SE Spain), *Terra Nova*, 9, 223–227.
- Martinez-Martinez, J. M. and J. I. Soto, 2002, Orthogonal folding of extensional detachments: Structure and origin of the Sierra Nevada elongated dome (Betics, SE Spain), *Tectonics*, 21, 1-22.
- Martinez-Martinez, J. M., J. I. Soto and J. C. Balanya, 2004, Elongated domes in extended orogens: A mode of mountain uplift in the Betics (southeast Spain), *Geological Society of America Special Paper*, 380, 243-265.
- Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., Hernández-Enrile, J.L., Santanach, P., 2004. The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary. Seismotectonic implications for the Ibero-Magrebien region. *Journal of Geophysical Research*, 109 (B01301), doi: 10.1029/2002JB002359, 1-17.
- McCalpin, J., 1996. *Paleoseismology*, p. -588, Academic Press cop., San Diego.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., and Tealeb, A., 2003, GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions: *Geophysical Journal International*, v. 155, no. 1, p. 126-138.
- Mauffret, A., D. Frizon de Lamotte, S. Lallemand, C. Gorini and A. Maillard, E-W opening of the Algerian Basin (Western Mediterranean), *Terra Nova*, 16, 257-264.
- Maurel, O.; Brunel, M., Monie, P., 2002. Exhumation cénozoïque des massifs du Canigou et de Mont-Louis (Pyénées orientales, France) C. R. *Geoscience*, v. 334, p. 941-948.
- Miyazaki, S., McGuire, J. J., and Segall, P., 2003, A transient subduction zone slip episode in southwest Japan observed by the nationwide GPS array: *Journal of Geophysical Research*, v. 108, no. B2, p. 2087, doi:10.1029/2001JB000456.
- Morales, J., I. Serrano, A. Jabaloy, J. Galindo-Zaldívar, D. Zhao, F. Torcal, F. Vidal and F. Gonzalez-Lodeiro, 1999, Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea, *Geology*, 27, 735-738.
- Muñoz, J. A., 1992, Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced section, in K. R. McClay, ed., *Thrust Tectonics*: London, Chapman and Hall, p. 235-246.
- Muñoz, J. A. (2002): Alpine tectonics I: the Alpine system north of the Betic Cordillera: The Pyrenees. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.), Geological Society, London: 370-385.
- Muñoz Martín, A., and G. De Vicente, 1998, Cuantificación del acortamiento alpino y estructura en profundidad del extremo sur-occidental de la Cordillera Ibérica (Sierras de Altomira y Bascañana): *Revista de la Sociedad Geológica de España*, v. 11, p. 233-252.
- Nocquet, J. M., and Calais, E., 2003, Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001: *Geophysical Journal International*, v. 154, no. 1, p. 72-88.
- Olivet, J.-L. (1996): La cinématique de la plaque Ibérique, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, 20 (1), 131-195.
- Pallás, R., Rodés, Á., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Boursès, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P. (accepted February 2006). The late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: A critical review and new evidence from ¹⁰Be exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*.
- Pantosti, D. and R. S. Yeats, 1993. Paleoseismology of great earthquakes of the late Holocene, *Annali di Geofisica*, XXXVI, 237-257.
- Pantosti, D., 1997. Modern approaches in paleoseismology, in *Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*, edited by D. GIARDINI and S. Balassanian, pp. 147-167, NATO, Dordrecht.
- Pedreira, D. [2004], *Estructura cortical de la zona de transición entre los Pirineos y la Cordillera Cantábrica*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- Pedreira, D., A. Pulgar, J. Gallart, and J. Díaz, 2003, Seismic evidence of Alpine crustal thickening and wedging from the western Pyrenees to the Cantabrian Mountains (north Iberia): *Journal of Geophysical Research*, v. 108, p. doi:10.1029/2001JB001667.
- Pfiffner, O. A., Ellis, S. y Beaumont, C. (2000): Collision tectonics in the Swiss Alps: implications from geodynamic models. *Tectonics*, 19 (6): 1065-1094.

- Pinet B., Montadert L., Mascle A., Cazes M. & Bois C. (1987). – New insights on the structure and formation of sedimentary basins from deep seismic profiling in Western Europe. In: J. Brooks & K.W. Glennie (eds), *Petroleum Geology of North West Europe*. Graham & Trotman, London:11-31.
- Platt, J. P. and R. L. M. Vissers, 1989, Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc, *Geology*, 17, 540-543.
- Platt, J. P., J. I. Soto, M. J. Whitehouse, A. J. Hurford and S. P. Kelly, 1998, Thermal evolution rate of exhumation, and tectonic significance of metamorphic rocks from the floor of the Alboran extensional basin, western Mediterranean, *Tectonics*, 17, 671-689.
- Pous, J., Queralt, P., Marcuello, A. (2001): Magnetotelluric signature of the western Cantabrian Mountains. *Geophys. Res. Letters*, 28 (9): 1795-1798.
- Pulgar, J.A., Gallart, J., Fernandez-Viejo, G., Perez-Estaun, A., Alvarez-Marron, J., ESCIN Group, (1996): Seismic image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the Pyrenean belt from integrated reflection and refraction data. *Tectonophysics*, 264, pp. 1-19.
- Pulgar, J., Pérez-Estaun, A., Gallart, J., Álvarez-Marrón, J., Gallastegui, J., Alonso, J. L., ESCIN Group, (1997): The ESCI-N2 deep seismic reflection profile: a traverse across the Cantabrian Mountains and adjacent Duero basin. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (4), pp. 383-394.
- Pulgar, J. A., Alonso, J. L., Espina, R. G. y Marín, J. A. (1999) La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona Cantábrica. *Trabajos Geol. Univ. Oviedo*, 21: 283-294.
- Pysklywec, R. N., Beaumont, C. y Fullsack, P. (2000): Modeling the behavior of the continental mantle lithosphere during plate convergence, *Geology*, 28 (7): 655-658.
- Pysklywec, R. N., Beaumont, C. y Fullsack, P. (2002): Lithospheric deformation during the early stages of continental collision: numerical experiments and comparison with South Island, New Zealand. *J. Geophys. Res.*, 107 (B7), ETG 3: 1-19.
- Ranalli, G. (1995): *Rheology of the Earth: deformation and flow processes in geophysics and geodynamics*. Allen & Unwin Eds., Boston, 366 pp.
- Rat, P. , (1988): The Basque-Cantabrian Basin between the Iberian and European plates: some facts but still many problems. *Rev. Soc. Geol. España*, 1 (3-4), pp. 327-348.
- Querol, R., 1989, Geología del subsuelo de la Cuenca del Tajo, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 48 pp, 12 planos p.
- Reisberg L., C. –J. Allegre, and J. –M. Luck, 1991, The Re-Os systematics of the Ronda ultramafic complex of southern Spain, *Earth Planet. Sci. Lett.* 105, 196-213.
- Rigo, A., Souriau, A., Dubos, N., Sylvander, M. and Ponsolles, C., 2005. Analysis of the seismicity in the central part of the Pyrenees (France), and tectonic implications. *J. Seismology*. 9, 211-222.
- Roberts, D.G., Kidd, R.B., (1984): Sedimentary and structural pattern on the Iberian continental margin: an alternative view of continental margin sedimentation. *Marine and Petroleum Geology*, 1, pp. 37-48.
- Roure, F., Choukroune, P., Berastegui, X., Muñoz, J. A., Villien, A., Matheron, P., (1989): ECORS deep seismic data and balanced cross-sections: geometric constraints to trace the evolution of the Pyrenees. *Tectonics*, 8 (1), pp. 41-50.
- Rowlands, K.A., Jones, L.D. and Whitworth, M., 2003 Landslide laser scanning: A new look at an old problem. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology* 36 (2), 155 - 157.
- Royden, L.H. , 1993, Evolution of retreating subduction boundaries formed during continental collision, *Tectonics*, 12, 629-638.
- Salas, R., and A. Casas, 1993, Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the Iberian basin: *Tectonophysics*, v. 228, p. 1-23.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A. & Alonso, A., 2001. Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cainozoic inversion (Iberian Chain). In: P.A. Ziegler, W. Cavazza & A.F.H. Robertson & S. Crasquin-Soleau (eds), Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, 186: 145-185.
- Sautkin, A., A. R. Talukder, M. C. Comas, J. I. Soto and A. Alekseev, 2003, Mud volcanoes in the Alboran Sea: evidence from micropaleontological and geophysical Data, *Marine Geology*, 195, 237-261.
- Schettino, A. and C. Scotese, 2002, Global kinematic constraints to the tectonic history of the Mediterranean region and surrounding areas during the Jurassic and Cretaceous, *Journal of the Virtual Explorer*, 8, 145–160.
- Schott, B., D. A. Yuen, H. Schmeling, 2000, The significance of shear heating in continental delamination, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 118, 273-290.
- Seber, D., M. Barazangi, A. Ibenbrahim and A. Demnati, 1996, Geophysical evidence for lithospheric delamination beneath the Alboran Sea and Rif-Betic mountains, *Nature*, 379, 785-790.
- Serrano, I., F. Bohoyo, J. Galindo-Zaldivar, J. Morales and D. Zhao, 2002, Geophysical signatures of a basic-body rock placed in the upper crust of the External Zones of the Betic Cordillera (Southern Spain), *Geophysical Research Letter*, 29, 1-4.
- Serrano, I., D. Zhao, J. Morales and F. Torcal, 2003, Seismic tomography from local crustal earthquakes beneath eastern Rif Mountains of Morocco, *Tectonophysics*, 367, 187-201.
- Sibuet, J. –C., S. P. Srivastava and W. Spakman, 2004, Pyrenean orogeny and plate kinematics, *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-18.
- Simancas, J. F., R. Carbonell, F. G. Lodeiro, A. P. Estaun, C. Juhlin, P. Ayarza, A. Kashubin, A. Azor, D. M. Poyatos, G. R. Almodovar, E. Pascual, R. Saez and I. Exposito, 2003, Crustal structure of the transpressional Variscan orogen of SW Iberia: SW Iberia deep seismic reflection profile (IBERSEIS), *Tectonics*, 22, 1-25.

- Soto, J. I. and J. P. Platt, 1999, Petrological and Structural Evolution of High-Grade Metamorphic Rocks from the Floor of the Alboran Sea Basin, Western Mediterranean, *Journal of Petrology*, 40, 21–60.
- Soto, J. I., J. P. Platt, M. Sanchez-Gomez and J. M. Azanon, 1999, 19. Pressure- Temperature Evolution of the Metamorphic Basement of the Alboran Sea: Thermobarometric and Structural Observations, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 161, 263-279.
- Souriau, A., Pauchet, H., 1998. A new synthesis of Pyrenean seismicity and its tectonic implications. *Tectonophysics*, 290, 221-244.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M., Ponsolles, C., 2001. Sismotectonique des Pyrénées: Principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. France*. 172, n 1, 25-39.
- Spakman, W., and M. J. R. Wortel, 2000, Subduction and Slab Detachment in the Mediterranean-Carpathian Region: *Science*, v. 290, p. 1910-1917 [DOI: 10.1126/science.290.5498.1910].
- Srivastava, S. P., Roest, W. R., Kovacs, L. C., Oakey, G., Levesque, S., Verhoef, J., Macnab, R., (1990): Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184, pp. 229-260.
- Stich, D., C. J. Ammon and J. Morales, 2003, Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Maghreb region, *Journal of Geophysical Research*, 108, 1-20.
- Subarya, C., Chlieh, M., Prawirodirdjo, L., Avouac, J. P., Bock, Y., Sieh, K., Meltzner, A. J., Natawidjaja, D. H., and McCaffrey, R., 2006, Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake: *Nature*, v. 440, no. 7080, p. 46-51.
- Suriñach, E., Mathelot, J. M., Gallart, J., Daignières, M., Hirn, A., (1993): Seismic images and evolution of the Iberian crust in the Pyrenees. *Tectonophysics*, 221, pp. 67-80.
- Talukder, A. R., M. C. Comas and J. I. Soto, 2003, Pliocene to Recent Mud diapirism and related mud volcanoes in the Alboran Sea (Western Mediterranean), *Geological Society, London, Special Publications*, 216, 443-459.
- Teixell, A. (1990): Alpine thrusts at the western termination of the pyrenean Axial Zone. *Bull. Soc. Geol. France*. 6, (8), pp. 241-249.
- Teixell, A., 1998, Crustal structure and orogenic material budget in the west central Pyrenees: *Tectonics*, v. 17, p. 395-406.
- Teixell, A., P. Ayarza, H. Zeyen, M. Fernandez and M. –L. Arboleya, 2005, Effects of mantle upwelling in a compressional setting: the Atlas Mountains of Morocco, *Terra Nova*, 17, 456-461.
- Torne, M., M. Fernandez, M. C. Comas and J. I. Soto, 2000, Lithospheric Structure Beneath the Alboran Basin: Results from 3D Gravity Modeling and Tectonic Relevance, *Journal of Geophysical Research*, 105, 3209-3228.
- Vera, J. A., ed., 2004, Geología de España, SGE-IGME, Madrid, 890 p.
- Vergés J. & García-Senz J.M. (2001). – Mesozoic Evolution and Cenozoic Inversion of the Pyrenean rift. In : P.A. Ziegler, W. Cavazza & A.H.F. Robertson, Eds., *Peri-Tethyan rift/wrench basins and passive margins, Peri-Tethys Memoir* 6, 186, Mus. natl. His. nat., Paris, 187-212.
- Willett, S., C. Beaumont, P. Fullsack (1993): A mechanical model for the tectonics of doubly-vergent compressional orogens, *Geology*, 21, pp. 371-374.
- Willett, S. y Beaumont, C. (1994): Insights into the tectonics of the India-Asia collision from numerical models of mantle subduction. *Nature*, 369: 642-645.
- Williams, G. D., Fisher, M. W. (1984): A balanced section across the Pyrenean orogenic belt. *Tectonics*, 3 (7), pp. 773 -780.
- Vergés, J., and M. Fernández, in press, Mountain Ranges and Basins in the Iberian Peninsula, in D. G. Gee, and R. Stephenson, eds., *European Lithosphere Dynamics*, Geological Society Memoir.
- Vergés, J., M. Fernández, and A. Martínez, 2002, The Pyrenean orogen: pre-, syn-, and post-collisional evolution, in J. G. Rosenbaum, and G. S. Lister, eds., *Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen*, *Journal of Virtual Explorer*, 8, p. 55-84.
- Vergés, J., H. Millán, E. Roca, J. A. Muñoz, M. Marzo, J. Cirés, T. den Bezemer, R. Zoetemeijer, and S. Cloetingh, 1995, Eastern Pyrenees and related foreland basins: Pre-, syn- and post-collisional crustal-scale cross-sections., in S. Cloetingh, B. Durand, and C. Puigdefàbregas, eds., v. *Marine and Petroleum Geology*, 12, p. 903-916.
- Vissers, R. L. M., J. P. Platt, D. van der Wal, 1995, Late orogenic extension of the Betic Cordillera and the Alboran Domain: A lithospheric view, *Tectonics*, 14, 786-803.
- Wortel, M. J. R. and W. Spakman, 2000, Subduction and Slab Detachment in the Mediterranean-Carpathian Region, *Science*, 290, 1910-1917.
- Yeats, R. S., K. Sieh, and C. R. Allen, 1997. *Geology of earthquakes*, p. -568, Oxford University Press, New York-Oxford.
- Zappone, A., M. Fernandez, V. Garcia-Duenas and L. Burlini, 2000, Laboratory measurements of seismic P-wave velocities on rocks from the Betic chain (southern Iberian Peninsula), *Tectonophysics*, 317, 259-272.
- Zeck, H.P., 1997, Mantle peridotites outlining the Gibraltar Arc; centrifugal extensional allochthons derived from the earlier Alpine, westward subducted nappe pile, *Tectonophysics*, 281, 195-207.
- Zeyen, H., and M. Fernández, 1994, Integrated lithospheric modeling combining thermal, gravity, and local isostasy analysis: Application to the NE Spanish Geotranssect: *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 18089-18102.
- Zeyen, H., P. Ayarza, M. Fernandez, A. Rimi, 2005, Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz, *Tectonics*, 24, 1-16.
- Ziegler, P. A., 1988, Evolution of the Artic-North Atlantic and the Western Tethys, v. 43: Tulsa, American Association Petroleum Geology Memoir, 43, 1-198, 1-198 p.p

2.7. Deliverables

A fundamental milestone in *Topo-Iberia* is to establish and manage a geological-geophysical database with unprecedented resolution, as well as to develop integrated interpretations and evolutionary models that contribute to understand the earth dynamics, to mitigate geological hazards and to exploration of natural resources. This database should also be considered in the infrastructural and civil engineering performances in our country.

In general terms, this programme should provide:

1. Information on the structure, evolution and dynamics of the Iberian Peninsula.
2. New data to reveal and validate the mechanism of active fault systems.
3. Key parameters of the interaction within the mantle-crust-atmosphere system: the influence and impact of the lithospheric mantle and continental crust on the global change, by integrating data from all disciplines of Earth Sciences.
4. Integration and management of a massive volume of observations and results, providing tools for easy access, visualization and manipulation.
5. A framework to integrate other existing research teams in Earth Sciences.

More specific deliverables and results:

- Deployment of the IberArray multi-instrumental, pluridisciplinary observation platform.
- New models on the structure and properties of the sublithospheric Iberian mantle, based on the integration of geophysical observables, specially seismic tomography.
- New maps on lithospheric thickness, strength and deformation rate in each thematic area.
- Updated map of Moho depth and crustal thickness.
- Maps of physical properties in key areas of Iberia by integrating structural information and 3-D models of geophysical parameters (thicknesses, velocities, density, electrical resistivity, strength,...).
- Paleogeographic maps showing the evolution of the Iberian drainage system, sedimentary basins and topography in the last 20 Myears.
- Regional neotectonic maps compiling rates of uplifting, subsidence and lateral movements.
- Seismotectonic maps and fault parameters to calculate the seismic hazard in the active tectonic structures and description of the surface architecture of the active faults.
- Quantification of subsidence rates in evolving basins and deltas, and identification of controlling mechanisms.
- Quantification of elevation rates in active orogens and identification of controlling mechanisms.
- Quantification of intraplate uplift/subsidence rates induced by lithospheric folding and other processes.
- New concepts on tectonic control in river systems.
- Determination of sedimentary balance between orogens and basins.
- Evaluation and analysis of new satellite databases on geodesy and gravimetry.
- Geological-geophysical characterization of orogenic systems, deformation styles, balances, internal architecture and dynamics.
- Superficial and deep features of active fault systems.
- Determination of a kinematic model of Iberia and North Africa taking into account the mechanic behaviour of the active tectonic structures.

- Determination of the thermal evolution and the exhumation rates of the rocks of the Iberian chains and their basins.
- Quantification of the relative importance of the climatic-geomorphologic factors and tectonics to the relief formation, from the drainage network incision rates and the mountain front activity.
- Determination of relief uplift rates and paleo-climate changes from sedimentary data (palaeontologic, mineralogic and geochemist) from Tortonian to the present.
- Comparative analysis of the evolution of uplift, erosion, sedimentation, sismicity and river systems in Iberia and other European areas strongly influenced by ongoing processes of lithospheric delamination.
- Balance of the Quaternary crustal deformation and comparison with co-seismic deformation rates from historical catalogues and paleoseismicity in very active areas such as at the interaction between Iberian and African plates, or at the eastern Mediterranean belt, in comparison with other European areas of moderate seismicity.
- Characterization of the vulnerability in the several regions to landslides due to topography or seismic activity.

Dissemination of the results will be on international journals and meetings (see #4 for details of the Evaluation Plan). Moreover, the official institutions (Civil Protection, Environment department, civil engineering, and others) will be informed about all the results related with the geological hazard.

2.8. Envisaged Actions and Working Plan

Of special relevance in the work plan below is the deployment of instrumentation of the IberArray platform for new data acquisition, a fundamental, innovative aspect of this programme. As seen in the methodology section, an optimal design of IberArray would have as a basic component the deployment of an array of 50 km x 50 km on the Iberian Peninsula. In the nodes of this array, broad-band seismic stations should be installed, continuously recording global seismicity during a ca. 2 years period, as well as GPS instruments measuring deformations that reveal the ongoing dynamics of the Iberian Peninsula. Other instrumental measurements should also be performed, such as magnetotelluric transects. The existing permanent instrumental networks will already cover some nodes of the array, and the deployment of portable equipment will be addressed to fill up the holes and complete a homogeneous array. Some of the institutions involved in this programme have already portable equipment for this purpose, even though the total number of instruments is by far insufficient, and an appropriate national pool should be available.

The research team of this programme is willing to promote the creation of such a national pool of instrumentation of shared use. In this sense, it has been budgeted here the acquisition of a first part of this pool, regarded as a basal instrumentation, and we will apply to subsequent infrastructural calls to complete this equipment. In the time period of this programme, and using the instruments available at present (including the new ones budgeted here) we plan to achieve a significant sampling of the main areas of research. An optimum coverage of the peninsula would require a continuation in time of this programme, or alternatively to collect additional equipment through international scientific collaborations to extend and enlarge the sampled area in each time period. The Iberian continental margins should also be sampled in an analogous way with marine arrays of instruments (not detailed in the figure). This would imply a serious technological challenge and, in a short term, would be feasible only by a joint international effort among the few institutions having such equipment (BB-OBS, marine MT,..).

Scheme of Tasks in the three domains of research (a: south; b: centre; c: north). Institutions with more direct implications in each of them are reported, even though most of the groups will participate in the different tasks.

<i>Num.</i>	<i>Tareas</i>	<i>Instituciones Responsables</i>	<i>Grupos Participantes</i>
I.	Recopilation of existing geological and geophysical data. Creation and management of databases (compatibilization of networks, format unification, etc.)	Ia: UG+IGME Ib: UCM+IGME Ic: UO+IGME	Ia: UG, UCM, IGME, UB, UAB, UCA, ROA, UJ Ib: UCM, IGME, UB Ic: UO, UAB, IGME, UB, ROA
II	Deployment of a portable network of seismic instrumentation, successively in each study area (coodination with similar international actions).	Ia: ICTJA+UG Ib: ICTJA+UCM Ic: ICTJA+UO	IIa: ICTJA, UG, UCM, ROA IIb: ICTJA, UCM, IIc: ICTJA, UO, UCM
III	Deployment of temporary networks of geodetic/GPS instrumentation.	IIIa: ROA+UJ IIIb: UCM+ROA IIIc: UB+UO	IIIa: ROA, ICTJA, UJ, UB IIIb: UCM, ROA, UB, ICTJA, IIIc: UO, UB, ROA, ICTJA
IV	Field measurements of magnetotellurics, potential fields, paleomagnetism, etc. 3D modeling of geophysical parametres.	IVa:UG+UB+UCM IVb:UCM+UB IVc: UB+UO+IGME	IVa: UG, UB, UCM, ICTJA, ROA, UAB IVb: UCM, UB, UG, ICTJA IVc: UB, UO, IGME, UCM, ICTJA
V	Neotectonics, geochronology, structural geology, geomorphology, etc.	Va:UG+UCA+UB Vb:UCM+UCA+UO Vc:UO+UB	Va: UG, UCA, UB, UAB, UJ Vb: UCM, UCA, UB Vc: UO, UB, UAB
VI	Specific actions of high density data acquisition in zones of special interest.	VIa:UG+ICTJA+UCM VIb:UCM+ICTJA VIc:UO+ICTJA+UB	VIa: UG, UCM, IGME, ICTJA, UB, UAB, ROA VIb: UCM, IGME, ICTJA, UB VIc: UO, IGME, ICTJA, UB
VII.	Development of analysis and interpretation methods of geophysical data and of evolutionary numerical modelling.	VIIa: ICTJA+UG VIIb: ICTJA+UCM VIIc: ICTJA+UO	VIIa: ICTJA, UG, UCM, UB, ROA VIIb: ICTJA, UCM, UB VIIc: ICTJA, UO, UB, UCM
VIII	Models of deep structure from seismic data, by using methods of tomographic inversions, receiver functions, anisotropy, etc.	VIIIa:ICTJA+UG VIIIb: ICTJA+UCM VIIIc: ITCJA+UO	VIIIa: ICTJA, UG, UCM, ROA VIIIb: ICTJA, UCM VIIIc: ICTJA, UO, UCM

<i>Num.</i>	<i>Tareas</i>	<i>Instituciones Responsables</i>	<i>Grupos Participantes</i>
IX.	Seismotectonic models based on hypocentral parameters, focal mechanisms, structural geology, neotectonics and paleoseismology.	IXa:UG+UCM IXb: UCM+UB IXc:UO+ICTJA+UB	IXa: UG, UCM, UB, ROA IXb: UCM, IGME IXc: UO, IGME
X.	Models of sedimentary balance and flow, basin subsidence, etc.	Xa:UG+ICTJA Xb:UCM Xc:UO+ICTJA	Xa: UG, UCM, IGME, UCA, UAB Xb: UCM, IGME Xc: UO, IGME
XI	Models of denudation and elevation of Iberian ranges from low-temperature geochronology (fission tracks, cosmogenics, etc.).	XIa: UCA XIb:UCM XIc:UO	XIa: UG, UCM, IGME, UCA, UAB, UB XIb: UCM, IGME, UCA, UB XIc: UO, IGME, UAB, UCA
XII	Joint modelling of the recent interrelations between tectonics, evolution of topography and climate change.	XIIa: UG XIIb:UCM XIIc:UO	XIIa: UG, UCM, UCA, UAB, UB XIIb: UCM, UB XIIc: UO, UB
XIII	Models of structure and tecto-sedimentary evolution of Iberian Atlantic margins from marine geophysical data and correlation with emerged areas.	XIIIa: IGME+UCA XIIIc: IGME+UO	XIIIa: IGME, UCA, UG, ROA XIIIc: IGME, UO, ROA

Abbreviations:

ICTJA: Institute of Earth Sciences CSIC

UG: University of Granada

UO: University of Oviedo

UB: University of Barcelona

UCM: University of Madrid

UCA: University of Cadiz

UJ: University of Jaen

UAB: University Autonomous of Barcelona

IGME: Spanish Geological and Mining Institute

ROA: Royal Institute and Observatory of the Navy

3 ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL GRUPO

Se debe proporcionar una información detallada sobre la estructura funcional del equipo, los ámbitos de investigación de sus componentes y una explicación del valor añadido que la cooperación entre ellos supone para el sistema de I+D. En la valoración de este aspecto se tomará en cuenta el posicionamiento competitivo de los investigadores a nivel internacional, en términos de los indicadores usuales (número de publicaciones en revistas ISI, número de citas recibidas, número de citas recibidas de los 5 artículos más importantes del investigador coordinador y de los investigadores principales de cada grupo del equipo, número de proyectos del Programa Marco de la UE y de éstos los proyectos que se han liderado, premios recibidos, u otros elementos que demuestren la calidad del equipo). También se tomará en cuenta la disponibilidad y adecuación de las estructuras o elementos necesarios para la coordinación y funcionamiento del equipo.

Se deberá incluir una versión en Inglés del mismo texto y en el mismo fichero

El equipo de investigación de **Topo-Iberia** está compuesto por más de 100 investigadores doctores de 10 centros distintos, de Universidades y centros públicos de investigación de nuestro país. Sus miembros cubren una muy amplia gama de disciplinas temáticas y metodológicas, y de ámbitos regionales de investigación, según se detallará a continuación. La finalidad del programa es precisamente integrar esas investigaciones en un marco común de referencia: la problemática de la relación entre la topografía y la evolución 4D de Iberia.

La productividad científica del equipo se puede sintetizar, a partir de los CV de sus componentes y según los datos disponibles en el 'ISI Web of Knowledge', en un total de 1698 artículos publicados en revistas ISI, que han recibido un total de 18503 citas ISI. Si se consideran solamente los artículos sin repeticiones (eliminando las duplicidades entre investigadores y/o grupos) las cifras resultantes son de 1194 artículos y 12766 citas, con un promedio de 10.7 Citas/Artículo. A título de comparación, siempre según datos 'ISI Web of Knowledge', en el periodo 1995-2005 el equipo investigador de **Topo-Iberia** ha publicado el 16% de los trabajos de toda la comunidad Española en Geociencias, los cuales han recibido el 20% de las citas totales correspondientes a dicha comunidad.

El Investigador Coordinador del proyecto es el Dr. Josep Gallart Muset, Profesor de Investigación del Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera' del CSIC. Su actividad científica se centra en estudios de estructura y dinámica de la Tierra a partir de metodologías geofísicas, fundamentalmente sísmicas, efectuados en entornos geotectónicos muy diversos, desde sistemas orogénicos (Pirineos, Himalayas-Tibet, o Urales), márgenes continentales, zonas de subducción, sistemas volcánicos, etc. Ha liderado una docena de proyectos de investigación nacionales y 6 de la Unión Europea. Su productividad científica se refleja en 70 artículos publicados en revistas SCI, que han recibido un total de 1267 Citas, con un promedio de 18.1 Citas/Artículo. Tiene un índice h (Hirsch) de 20. Cinco de sus publicaciones más relevantes son:

- Daignières, M., Gallart, J., Banda, E. And Hirn, A. "Implications of the seismic structure for the orogenic evolution of the Pyrenean range". *Earth and Planetary Science Letters*, 57, (1982), pp. 88-100. Impact Factor (2004): 3.5. Times Cited: 80
- Hirn, A., Nicolich, R., Gallart, J., Laigle, M., Cernobori, L. And The Etnaseis Scientific Group. "Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes". *Earth and Planetary Science Letters*, 148, (1997), pp. 171-191. Impact Factor (2004): 3.5; Times Cited: 69
- Hirn, A., Jiang, M., Diaz, J., Nercessian, A., Sapin, M., Lu, Q.T., Lepine, J.C., -Shi, D.N., Sachpazi, M., Pandey, M.R., Ma, K. And Gallart, J. "Seismic anisotropy as an indicator of mantle flow beneath the Himalayas and Tibet". *Nature*, 375, (1995), pp. 571-574. Impact Factor (2004): 32.18. Times cited: 50
- Carbonell, R., Perez-Estaun, A., Gallart, J., Diaz, J., Kashubin, S., Mechie, J., Staatlander, R., Schulze, A., Knapp, J.H. And Morozov, A. "Crustal root beneath the Urals: Wide-angle seismic evidence". *Science*, 274, 5285, (1996) pp. 222-224. Impact Factor (2004): 31.85. Times cited: 44

- Banda, E., Gallart, J., Garcia-Dueñas, V., Dañobeitia, J.J. And Makris, J. "Lateral variation of the crust in the Iberian Peninsula. New evidence from the Betic Cordillera". *Tectonophysics*, 221, (1993), pp. 53-66. Impact Factor (2004): 1.84. Times cited: 43

Ámbitos de investigación de los grupos que forman el equipo.

1. Grupo de estructura y dinámica de la Tierra, del Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera'-CSIC Barcelona (ICTJA).

Sus líneas de investigación pueden agruparse en tres grandes temáticas:

a) Tectonofísica

Esta es la línea más característica del grupo, en la que se integran prácticamente todos sus miembros. Su finalidad genérica es el estudio de la estructura y dinámica de la litosfera. Sus objetivos conciernen una gran variedad de entornos tectónicos, incluyendo orógenos de colisión, márgenes activos y pasivos y cuencas sedimentarias, y pueden resumirse en:

- Construir modelos petrofísicos integrados de la litosfera y manto subyacente a escalas regional y global utilizando campos potenciales, parámetros sísmicos procedentes de múltiples experimentos de campo, datos térmicos y petrológicos.
- Estudiar la deformación de la litosfera combinando perfiles sísmicos, geología superficial y modelización numérica.
- Estudiar cómo los procesos de origen profundo afectan a toda la columna cortical e interaccionan con procesos superficiales.

b) Geología y Geofísica aplicadas

Esta línea comporta una colaboración directa con la industria, en sectores de geotecnia y medio ambiente, si bien las actividades tienen siempre una componente de interés académico. Sus objetivos son

- En el sector energético, estructuras geológicas y condiciones térmicas favorables a la formación y atrapado de hidrocarburos.
- En el sector geotécnico, estudio de características del subsuelo ante la construcción de infraestructuras de gran escala, como túneles, autopistas, oleoductos, etc.
- En el tema medioambiental, prospección para almacenamientos de residuos, trampas de reservorios de CO₂, etc.

c) Desarrollo de metodologías geofísicas

En esta temática se efectúa:

- Investigación de nuevos métodos para detección y procesado de señales sísmicas, métodos de inversión y modelización de propagación de ondas.
- Desarrollo de nuevos algoritmos según esquemas Eulerianos que describen la cinemática de una interfase durante la deformación, para integrar datos geofísicos y petrológicos

2. Grupo de Geodinámica y Geofísica de la Universidad de Granada

Este grupo está compuesto por investigadores procedentes de diferentes campos de investigación en Ciencias de la Tierra. Una parte importante F. González Lodeiro (F. G. L), J. I. Soto Hermoso (J. I. S), G. Booth Rea (G. B-R), D. Martínez Poyatos (D. M-P); F. Simancas Cabrera F. S. C.), J. C. Balanya Roure J. C. B-R), A. Jabaloy (A. J), I. Expósito (I. E.), J. Galindo Zaldívar (J. G-Z), J. M. Martínez (J. M. M.), A. Crespo Blanc (A. C. B), M. Orozco (M. O.), M. Díaz Azpiroz (M. D-A), Antonio Azor (A. A.) J. M. Azañón (J-M. A.)M. C. Comas (M. C. C) C Sanz de Galdeano (C. S. G) tienen como campo de investigación la Geología Estructural, Tectónica y Geología del Subsuelo.

La mayor parte de los investigadores citados han desarrollado su investigación en las Cordilleras Bético-Rifeñas (F. G. L, J. I. S, G. B-R, D. D. M-P, F. S. C., J. C. B-R, A. J, J. G-Z, J. M. M., A. C. B, M. O., M. C. C, A. A., J-M. A, y C. S. G.); en el Macizo Ibérico (F. G. L, D. M-P, F. S. C., J. G-Z, A. C. B, M. O., I. E., M. D-A, A. A.), en la meseta marroquí (F. G. L., F. S. C.; A. A., D. M-P y J. G-Z.)

y en la región del Anti-Atlas (F. G. L., F. S. C.; A. A. y D. M-P). En temas geomorfológicos y de evolución del relieve han desarrollado sus trabajos: Antonio Azor, J.-M Azañón, en las Cordilleras Bético-Rifeñas.

En las cuestiones relacionadas con paleoclimatología, cambio climático, paleogeografía, sedimentología y paleontología en las Cordilleras Bético -Rifeñas tienen una gran experiencia J. Martín Martín, J-C. Braga, M. C. Comas, P. Rivas, E Martín Suárez, M. Ortega y F. Martínez Ruiz. Los estudios de geofísica (sísmica de refracción, tomografía sísmica, entre otras) están cubiertos por José Morales, I Bermejo, D. Stich y M-T Teixido. Por último señalar que en el ámbito de la petrología, mineralogía y geología isotópica se cuenta con los investigadores: M. Ortega, M-T Gómez Pugnaire y F. Martínez Ruiz.

En los currículos adjuntos se pone de manifiesto la participación en proyectos en los cuales todos estos investigadores han participado en temas muy relacionados con los objetivos de Topo-Iberia. Todos los miembros del equipo han desarrollado sus trabajos en colaboración con geólogos y geofísicos marroquíes en el marco de proyectos de investigación financiados por la Agencia Española de Cooperación Internacional y la Consejería de la Presidencia de la Junta de Andalucía.

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Francisco González Lodeiro, Catedrático de Geodinámica de la Universidad de Granada, son:

- Morales J, Serrano I, Jabaloy A, Galindo-Zaldívar J, Zhao D, Torcal F, Vidal F, González-Lodeiro F (1999). Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea. *Geology* 27 (8): 735-738, Times cited: 38
- Monie P, Galindo Zaldívar J, González Lodeiro F, Goffe B, Jabaloy A (1991). Ar-40/Ar-39 Geochronology of alpine tectonism in the Betic cordilleras (Southern Spain). *Journal of the Geological Society* 148: 289-297. Times cited 71
- Goffe B, Michard A, García Dueñas V, González Lodeiro F, Monie P, Campos J, Galindo Zaldívar J, Jabaloy A, Martínez Martínez JM, Simancas JF (1989). 1ST evidence of high - pressure, low-temperature metamorphism in the alpujarride nappes, Betic Cordilleras (SE Spain). *European Journal of Mineralogy* 1 (1): 139-142 1989. Times cited: 77
- Galindo Zaldívar J, González Lodeiro F, Jabaloy A (1989). Progressive extensional shear structures in a detachment contact in the western Sierra Nevada (Betic-Cordilleras, Spain). *Geodinamica Acta* 3 (1): 73-85 1989. Times cited: 66
- Galindo Zaldívar J, González Lodeiro F, Jabaloy A (1993). Stress and paleostress in the Betic-Rif Cordilleras (Miocene to the present) *Tectonophysics* 227 (1-4): 105-126. Times cited: 37

3. Grupo de Geofísica y Geodinámica de la Universidad de Oviedo

La actividad investigadora de este Grupo ha estado centrada principalmente en el conocimiento de la estructura geológica y evolución tectónica del NO de la Península Ibérica. El grupo ha impulsado el conocimiento de la geología de dicha zona a lo largo de una amplia región de más de 800 Km de longitud y una anchura de más de 150 Km, desde la cobertera mesozoico-terciaria de Cantabria-País Vasco y el Pirineo hasta las costas atlánticas de Galicia. El progreso en el conocimiento geológico de tan amplia zona exigió en primer lugar un considerable esfuerzo en el levantamiento de mapas geológicos, imprescindibles para deducir la estructura y evolución tectónica de la zona. A modo de ejemplo, se puede mencionar que los mapas oficiales del Mapa Geológico de España realizados por miembros del grupo, exclusivamente o en colaboración con otros investigadores, son, hasta la fecha, mas de media docena de hojas a E. 1:200.000 y más de medio centenar de hojas a E. 1:50.000. A estos habría que añadir los numerosos mapas geológicos publicados acompañando trabajos científicos diversos, tesis doctorales, tesinas, etc.

Las aportaciones de este grupo al conocimiento geológico del N de España quedan de manifiesto en el gran número de publicaciones científicas -más de 300- realizadas hasta la actualidad. Estas publicaciones han aparecido tanto en revistas nacionales como en revistas científicas internacionales de la máxima difusión dentro del campo de las Ciencias de la Tierra, tales como: *American Journal of Science*, *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaeontologie*, *Geological Journal*, *Tectonophysics*, *Hercynica*, *Tectonics*, *Geologische Rundschau*, *Sciences Geologiques*, *Journal of Structural Geology*, *Annales Geophysicae*, *Economic Geology*, *J. Geol. Soc. London*, *Bull. Geol. Soc. France*, *Geodinamica Acta*, *Geophysical Research Letters*, *Journal of Geophysical Research*, *Marine Geology*, *Geology*, *AAPG*, etc., así como en varios libros o volúmenes monográficos editados en España o en extranjero.

Su actividad científica queda también reflejada en los numerosos proyectos de investigación en los que ha participado en los últimos años y en los que participa en la actualidad. Muchos de los proyectos ejecutados se enmarcaron en los objetivos prioritarios del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, dentro de los programas Recursos Geológicos e I+D en Medio Ambiente.

Las líneas de investigación que desarrolla el grupo investigador son las siguientes:

1) Estructura y dinámica de la litosfera: Sísmica de refracción- reflexión de gran ángulo y sísmica de reflexión vertical. Sismicidad, sismotectónica y riesgo sísmico. Evolución geodinámica de los márgenes continentales y las cuencas sedimentarias marinas. Implicaciones de los resultados geofísicos de estructura en la evolución geotectónica. Modelización numérica de los procesos geodinámicos de formación de cuencas y levantamiento de cordilleras.

2). Procesos de deformación de la corteza: evolución de orógenos y cuencas sedimentarias: Geología Estructural y Tectónica de zonas orogénicas, Geometría y cinemática de pliegues y fallas. Relaciones tectónica-sedimentación. Geología Regional (Orógeno Varisco Ibérico, Orógeno Pirenaico-Cantábrico, margen continental noribérico)

3). Exploración de recursos naturales y estudios de subsuelo: Modelización de yacimientos y recursos minerales. Aplicación de métodos estructurales en la exploración de hidrocarburos. Aplicación de los métodos geofísicos a la exploración de recursos naturales y a estudios de medio ambiente e ingeniería.

La oferta general de tecnología y conocimiento del grupo de investigación incluye: i) Metodologías geofísicas para la exploración de recursos naturales: Sísmica de reflexión y refracción, campos potenciales (gravedad, magnetismo). ii) Estudios de Sismicidad, sismotectónica y riesgo sísmico. iii) Caracterización geológica y geotécnica del subsuelo: métodos geofísicos para la ingeniería del terreno. iv) Técnicas de análisis, modelización y predicción estructural en la exploración de recursos naturales. v) Estudio de paragénesis minerales, metalogenia y geoquímica de yacimientos.

Una parte importante de la actividad investigadora de este grupo se centra en estos momentos en el establecimiento de la estructura cortical del NO peninsular y sus márgenes continentales a partir de la integración de los datos de geología de superficie con datos geofísicos, especialmente de sísmica de reflexión profunda y de refracción/reflexión de gran ángulo. Así en los última década se han ejecutado a cabo cinco proyectos dentro de los planes nacionales de I+D que han permitido el estudio de la estructura cortical de toda la parte noroeste de la península Ibérica, desde Galicia al Pirineo, incluyendo la parte más oriental del margen continental Cantábrico. Estos proyectos han supuesto diversas campañas de adquisición de datos geofísicos en tierra y mar que han aportado los primeros datos generales sobre la estructura litosférica de toda esta amplia zona y han sido objeto de diversas publicaciones en las revistas internacionales de mayor impacto y de presentaciones en congresos y reuniones nacionales e internacionales.

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Francisco Javier Alvarez Pulgar, Catedrático de Geodinámica de la Universidad de Oviedo, son:

- Bastida, F., Martínez Catalán, J.R. y Pulgar, J.A. (1986): Structural, metamorphic and magmatic history of the Mondoñedo nappe (Hercynian belt, Nw Spain). *Journal of Structural Geology*, 8 (3-4), p. 415-430. Citas recibidas: 36

- Pérez Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez Marrón, J., Marcos, A. y Pulgar, J.A. (1988): A thin-skinned tectonic model for an arcuate fold and thrust belt: The Cantabrian Zone (Variscan Ibero-Armorican arc). *Tectonics*, 7(3), p. 517-537. Citas recibidas: 72
- Alonso, J.L. , Pulgar, J.A, García-Ramos, J. C. Y Barba, P. (1996): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). In: P. F. Friend and C. J. Dabrio (Eds.) *Tertiary Basins of Spain: Tectonics, Climate and Sea-Level Changes*, p. 214-227. Cambridge University Press, Cambridge. (ISBN: 0-521-46171-5). Citas recibidas: 25
- Pérez Estaún, A. , Pulgar, J. A., Banda, E., Álvarez Marrón, J. and Esci-N Research Group (1994). Crustal structure of the external variscides in NW Spain from deep seismic reflection profiling. *Tectonophysics*. 232, p. 91-118. Citas recibidas: 25
- Pulgar, J.A., Gallart, J., Fernández-Viejo, G., Pérez-Estaún, A., Álvarez-Marrón, J. and Escin Group (1996): Seismic Image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the Pyrenees from integrated ESCIN reflection and refraction data. *Tectonophysics*, 264, 1-20. Citas recibidas: 22

4. Grupo de Geodinámica y Geofísica de la Universidad de Barcelona

Los miembros del grupo UB tienen experiencia metodológica en Geología estructural (Casas, Guimerà, Ruano, Sàbat, Santanach), Anàlisis de cuencas (Salas, Guimerà), Geomorfología y riesgos naturales (Furdada, Marqués, Vilaplana, Pallàs) y en Geofísica, en particular sismología (Suriñach, Khazaradze), magnetotelúrica (Pous), prospección (Rivero), estructura litosférica (Pous, Suriñach, Rivero) y modelización numérica (Khazaradze), Redes geodésicas y nivelación de alta precisión aplicadas a la tectónica activa (Khazaradze, Suriñach), Paleosismología (Masana, Santanach), y en el campo de la Geocronología se tiene experiencia en los métodos basados en isótopos cosmogénicos (Bourlès, Braucher, Pallàs). Regionalmente, todos los miembros del grupo han centrado buena parte de su investigación en la Península Ibérica. También han trabajado en la península italiana y Grecia (Masana), en los Alpes (Suriñach, Furdada, Vilaplana, Khazaradze), en Escandinavia (Suriñach, Khazaradze), en el NW de USA (Khazaradze), Centroamérica (Furdada, Vilaplana, Pallàs, Marqués, Santanach, Masana), Andes (Sàbat, Masana, Santanach, Salas, Khazaradze, Furdada), Antártida (Sàbat, Casas, Vilaplana, Furdada, Santanach, Pallàs, Suriñach), Marruecos (Guimerà, Ruano, Rivero) y en Tien Shan, China (Ruano). Todos los investigadores del grupo han participado en los últimos años en proyectos nacionales. Entre los proyectos de la UE en los que han participado investigadores del grupo cabe destacar los siguientes: FAUST (ENV4-CT97-0528, 1998-2000) y SAFE (ENGV-CT2000-00023, 2001-2004) en Paleosismología, SAME (ENV4-CT96-0258, 1996-1998) y SATSIE (EVG1-CT2002-00059, 2003-2006) en dinámica de avalanchas de nieve, instrumentación y modelización y ENV4-CT95-0134, 1996-1999 en el campo de erosión e impacto ambiental ligado a hidrología. También se ha participado en los programas MAST (1997-2000) y EUROPROBE (2001-2002) en diversos campos de la geofísica así como en INTERREG II en el tema de riesgos naturales (2000-2001). Además en el campo de GPS en los proyectos andinos SFB267, 1999-2002 y 2002-2004 (Alemania) y los proyectos en el NW de EEUU 1434-HQ-98-GR-1027, 1998-2000 y EAR9616302, 1997-1999 financiados respectivamente por USGS y NSF de EEUU.

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Pedro Francisco Santanach Prat, Catedrático de Geodinámica de la Universidad de Barcelona, son:

- J. Carreras, M. Julivert, **P. Santanach** (1980): Hercynian mylonite belts in the Eastern Pyrenees: an example of shear zones associated with late folding. *J. Struct. Geol.*, 2, 5-9. 33 citas en revistas ISI
- P. Anadón, F. Colombo, M. Esteban, M. Marzo, S. Robles, **P. Santanach**, L. Solé Sugañes (1979): Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides. *Acta Geol. Hispanica*, 14 (1979), 242-270. 39 citas en revistas ISI

- P. Anadón, L. Cabrera, J. Guimerà, **P. Santanach** (1985): Paleogene strike-slip deformation and sedimentation along the southeastern margin of the Ebro Basin. In: Biddle, K.T. & Christie-Blick, N. eds., *Strike-Slip deformation, basin formation, and sedimentation, Soc. Econ. Pal. Min. Special Publ.*, 37, 303-318. 62 citas en revistas ISI
- J.M. Fontboté, J. Guimerà, E. Roca, F. Sàbat, **P. Santanach**, F. Fernández-Ortigosa (1990): The Cenozoic geodynamic evolution of the València Trough (western Mediterranean). *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 249-259. 42 citas en revistas ISI
- E. Masana, E., J.J Martínez-Díaz, J.L. Hernández-Enrile, **P. Santanach** (2004): The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary. Seismotectonic implications for the Ibero-Magrebian region. *Journal of Geophysical Research*, 109 (B01301), doi: 10.1029/2002JB002359, 1-17.2004. 1-17. 5 citas en revistas ISI

5. Grupo de Tectonofísica y Geofísica de la Universidad Complutense de Madrid

Este grupo está formado por investigadores pertenecientes a dos departamentos de la Universidad Complutense, el de Geodinámica de la Facultad de Geología y el de Geofísica, Astronomía y Astrofísica I de la Facultad de Física, y cuenta además con la participación de dos investigadores del Departamento de Geología de la Universidad de Zaragoza, que abordan de forma integrada diversas temáticas científicas desde hace varios años.

Los ámbitos de investigación de los miembros del Departamento de Geodinámica son: Tectónica cenozoica del microcontinente Iberia (G. de Vicente y R. Vegas), Tectónica y Geofísica (A. Muñoz Marín), Geofísica aplicada (A. Carbó), vulcanismo Cenozoico (P. Llanes), Deformación frágil, Geología estructural, Tectónica-neotectónica (L. Antón), Nucleación de deformaciones cenozoicas en discontinuidades variscas (JM. González Casado), Simulación numérica de fenómenos acoplados, de medios geológicos fracturados, Problemas Inversos y Sistemas complejos (FJ Elorza), Cuantificación de la deformación interna en cinturones orogénicos, Relaciones esfuerzo-deformación y evolución de edificios volcánicos, y emplazamiento de batolitos graníticos y segregación de fluido en migmatitas (C. Rodríguez-Fernández).

Por lo que se refiere a los miembros adscritos al Departamento de Geofísica, A. y A., sus ámbitos de investigación se pueden esquematizar en: Geofísica, Perfiles sísmicos (D. Córdoba), Sismología, anisotropía, caos y autoorganización (J.Téllez), Tectónica en las cadenas Béticas (A. Negro) y Paleomagnetismo (M. Osete).

En cuanto a los miembros del Departamento de Geología (Geodinámica) de Zaragoza, desarrollan investigaciones en Análisis morfotectónico y de paleoesfuerzos en la Cadena Ibérica (JL. Simón Gómez), Estructura, relaciones tectónica-sedimentación, geotectónica, paleomagnetismo y paleoesfuerzos en Cordillera Ibérica, Cuenca del Ebro y pirineo centro-occidental (A. Casas Sainz).

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Gerardo de Vicente Muñoz, Profesor Titular de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid, son:

- G. de Vicente, J. Giner, A. Muñoz-Martín, J.M. González-Casado y R. Lindo. Determination of present-day stress tensor and neotectonic interval in the Spanish Central System and Madrid Basin, central Spain. G. de Vicente, J. Giner, A. Muñoz-Martín, J.M. González-Casado y R. Lindo. *Tectonophysics* (1996) 266, 405-424. Citas recibidas: 25
- B. Andeweg, G. de Vicente, S. Cloetingh, J. Giner y A. Muñoz-Martín. Local stress fields and intraplate deformation of Iberia: variations in spatial and temporal interplay of regional stress sources. *Tectonophysics* (1999) 305, 153-164. Citas recibidas: 13
- M. Herraiz, G. de Vicente, R. Lindo, J. Giner, J.L. Simón, J.M. González-Casado, O. Vadillo, M-A- Rodríguez-Pascua, J. Cicuéndez, A. Casas, L. Cabañas, P. Rincón, L. Cortés, M. Ramírez y M.

Lucini. A new perspective about the recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics* (2000) 19 (4) 762-786. Citas recibidas: 29

- S.Cloetingh, E. Burov, F. Beekman, B. Andeweg, P.A.M. Andriessen, D. García-Castellanos, G. de Vicente y R. Vegas. Lithospheric folding in Iberia. *Tectonics* (2002). 21,5,1041. 26 pp. doi:10.1029/2001TC901031,2002. Citas recibidas: 6
- M.A. Rodríguez-Pascua, J.P. Calvo, G. de Vicente, y G. Gómez-Gras. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology* (2000) 135,1-4, 117-135. Citas recibidas: 18

6. Grupo de Geodinámica del Atlas del Norte de Africa, de la Universidad Autónoma de Barcelona

El grupo está formado por investigadores del Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona, y cuenta asimismo con la participación de dos miembros adscritos al Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca, centros que colaboran estrechamente en la actualidad en diversos proyectos.

Tras años de experiencia en tectónica y geofísica adquirida en áreas como el macizo Ibérico, Pirineos, Cordilleras Béticas y Urales, el grupo ha ido aumentando, de manera progresiva desde 1997, las investigaciones sobre la geodinámica de las Cordilleras del Atlas de Marruecos. Desde entonces, sobre ese ámbito se ha dispuesto de 3 proyectos del Plan Nacional (dos de ellos enfocados específicamente al Atlas), 4 proyectos AEI, 1 proyecto NATO y 2 Acciones Complementarias del MEC. En el marco de estos proyectos se han utilizado métodos de trabajo que han ido variando paralelamente al avance de la investigación. Las actividades realizadas incluyen geología estructural, tectónica/sedimentación, adquisición y modelización gravimétrica, modelización de campos potenciales, estudio de huellas de fisión y de U-Th/He, geomorfología, y geocronología de nucleidos cosmogénicos. Para su desarrollo se ha colaborado con equipos de universidades marroquíes, francesas, españolas, estadounidenses, y del ICTJA.

En sus diversos ámbitos regionales, los miembros del grupo han realizado diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales como la Revista de la Sociedad Geológica de España, Estudios Geológicos, Boletín del IGME, *Journal of Structural Geology*, *Tectonics*, *Tectonophysics*, *Journal of Geophysical Research*, *Geophysical Research Letters*, *Journal of the Geological Society of London*, *Geology*, *Geological Society of America Bulletin*, *Journal of Metamorphic Petrology*, *Geologische Rundschau*, *American Journal of Science*, *Terra Nova*, *Journal of African Earth Sciences*, *Geomorphology*, etc.

En la actualidad se proyecta desarrollar la vertiente de geomorfología y procesos superficiales en las investigaciones sobre el norte de Africa (se ha solicitado un proyecto del Plan Nacional de la convocatoria vigente al respecto), y la posibilidad de realizar un experimento sísmico a través de las Cordilleras del Atlas. El equipo está co-organizando un congreso internacional sobre tectónica y movimientos verticales en el marco del International Lithosphere Program, a realizar en Marruecos en el año 2007.

Cinco artículos relevantes de la Investigadora Responsable de este Grupo, Dra. María Luisa Arboleya Cimadevilla, Catedrática de Geodinámica de la Universidad Autónoma de Barcelona, son:

- Julivert, M, Arboleya, ML. A geometrical and kinematical approach to the nappe structure in an arcuate fold belt - the Cantabrian nappes (Hercynian chain, NW Spain). *Journal of Structural Geology* 6: 499-&, 1984. *Citado 22 veces*
- Julivert, M, Arboleya, ML. Areal balancing and estimate of areal reduction in a thin-skinned fold-and-thrust belt (Cantabrian Zone, NW Spain) - constraints on its emplacement mechanism. *Journal of Structural Geology* 8: 407-414, 1986. *Citado 21 veces*

- Hirt, Am, Lowrie, W, Julivert, M, Arboleya, ML. Paleomagnetic results in support of a model for the origin of the Asturian Arc. *Tectonophysics* 21: 321-339,1992. *Citado 22 veces*
- Martinez, FJ, Julivert, M, Sebastian, A., Arboleya, M.L, Gil Ibarguchi, J.I. Structural and thermal evolution of high-grade areas in the northwestern parts of the Iberian Massif. *American Journal of Science* 288: 969-996, 1998. *Citado 16 veces*
- Arboleya, ML, Engelder, T. Concentrated slip zones with subsidiary shears - their development on three scales in the Cerro-Brass fault zone, Appalachian Valley and Ridge. *Journal of Structural Geology* 17: 519-, 1995. *Citado 12 veces*

7. Grupo de Geología y Geofísica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

El grupo de investigadores del IGME encuadrados en el proyecto se puede considerar organizado en cuatro grupos temáticos en base a su experiencia metodológica y de desarrollo de proyectos de una cierta relevancia: Geología Estructural y Tectónica, Geomorfología, Geofísica y Geología Marina. Cabe señalar que en cada uno de estos grupos se contará con la colaboración de otros miembros del centro, que no figuran explícitamente como solicitantes.

Los miembros del grupo IGME han trabajado en proyectos españoles de relevancia internacional como ESCI e IBERSEIS, así como en los Andes, Península Antártica, Caribe y Rif, (proyectos con financiación internacional del Banco Mundial, Unión Europea (Programa SYSMIN), AECI, Plan Nacional de I+D). Asimismo, en proyectos relevantes de geología marina, como los vinculados a la ampliación de la ZEEE, VERTIMAR, y los europeos EUROCORE/EUROMARGINS.

Las acciones del grupo de Geología Estructural y Tectónica (R. Rodríguez-Fernández, N. Heredia, C. Marín y J. Escuder) se centrarán en la adquisición y tratamiento de datos de geología estructural, tectónica activa y análisis tecto-sedimentario, así como modelación del levantamiento tectónico y evolución del relieve, en ámbitos de terminación occidental de la Cordillera Cantabro-Pirenaica y sus cuencas de antepaís, sector central del Macizo Ibérico y Cordillera Bético-Rifeña.

En la temática de Geomorfología (A. Martín-Serrano) se efectuarán acciones relacionadas con el análisis de la red fluvial: anomalías de trazado y sus causas, distribución de pendientes, cuantificación de los valores de incisión, determinaciones cronológicas en sedimentos asociados y modelos de evolución, así como modelización del levantamiento tectónico y evolución del relieve empleando técnicas cuantitativas con utilización de MDTs y GIS.

Las acciones del Grupo de Geofísica (J.L. García Lobón, C. Rey, C. Ayala) se centrarán en la adquisición, procesado de datos y modelación 2d y 3d de campos potenciales (gravimetría y magnetismo), así como en el análisis de la estructura de geoide e isostasia local. La modelación 2D servirá para la construcción inicial de modelos 3D de gravimetría y geoide y para el cálculo isostático 3D.

El Grupo de Geología Marina (L. Somoza, A. Maestro) desarrollará su actuación en el Margen Atlántico Ibérico, tanto en el Golfo de Cádiz como Margen de Galicia y la Zona Cantábrica. Se construirán modelos de la estructura y evolución tecto-sedimentaria a partir de datos geofísicos marinos y su correlación con las zonas emergidas, y se elaborará una base de datos geofísicos marinos (ecosonda multihaz, sísmica multicanal, sísmica de alta y muy alta resolución, magnetometría, gravimetría y sonar de barrido lateral) de las zonas estudiadas.

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Luis Roberto Rodríguez Fernández, Investigador Titular y Subdirector General del Instituto Geológico y Minero de España, son:

- Escuder Viruete J., Hernaiz Huerta P.P, Valverde Vaquero P., **Rodríguez Fernández L.R.** Y Dunning G.(1998).- Variscan Syncollisional extension in the Iberian Massif: structural, metamorphic and geochronological evidences from the Somosierra sector of the “Sierra de Guadarrama” (Central Iberian Zone, Spain). *Tectonophysics*. Holanda. 290 (1998) 87-109. **13 citas**
- C.Marín, J. Galindo-Zaldívar Y **L.R. Rodríguez-Fernández** (2003).- Joints, faults and paleostress evolution in the Campo de Dalías (Betic Cordilleras, SE Spain). *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences- Geosciences* 335, 255-264. **1 cita**
- Marín, C; Galindo-Zaldívar, J; **Rodríguez-Fernández, L.R**, Gonzalez-Lodeiro, F. (2004). Faulted hybrid joints: an example from the Campo de Dalías (Betic Cordilleras, Spain). *Journal of Structural Geology* 26 (2004) 2025–2037. **1 cita**
- Marín-Lechado, C; Galindo-Zaldívar, J; **Rodríguez-Fernández, L.R**, Serrano, Pedrera, A. (2004). Active faults, seismicity and stress in an internal boundary of a tectonic arc (Campo de Dalías and Níjar, southeastern Betic Cordilleras, Spain).). *Tectonophysics*. 07314. **1 cita**
- Heredia, N.; **Rodríguez Fernández, L.R.**; Gallastegui, G.; Busquets, P. & Colombo, F.;. (2002).- Geological setting of the Argentine Frontal Cordillera in the flat-slab segment (30°00’ y 31°30’ S latitude). In. Flat-Slab subduction in the Andes (V. Ramos & B Mc Nulty Eds.). *Jour. South Am. Earth Sci., Especial Issue*, 15, 79-99. **2 citas**

8. Grupo de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA)

El ROA es una institución de la Armada situada en San Fernando (Cádiz), de cerca de 250 años de antigüedad. Trabaja en la actualidad en Astronomía, Efemérides Astronómicas, Geofísica-Geodesia y Tiempo-Frecuencia. Desde 1856 se ubica en ella la Escuela de Estudios Superiores de la Armada, con una actividad académica orientada principalmente a estudios de post-grado tanto de oficiales de la Armada como de la Universidad: ingenieros hidrógrafos, cursos de Doctorado, Master, etc.

En el campo de las Ciencias de la Tierra, el ROA realiza las siguientes actividades:

- 1) Sismología: El Servicio de Sismología mantiene una red de diez estaciones sísmicas de Corto Periodo (una y tres componentes) desplegadas en las inmediaciones del Estrecho de Gibraltar, de una estación larga del período de tres componentes y de una red sísmica de Banda Ancha (BB) con ocho estaciones instaladas en el Sur de España-Norte de África, co-instaladas con estaciones permanentes GPS. Sus principales líneas de investigación se centran en sismicidad, fuente sísmica, reflexión / refracción de gran ángulo, tanto en tierra como en campañas marinas, instrumentación sísmica, diseños electrónicos, etc.
- 2) Geomagnetismo: El Servicio de Geomagnetismo mantiene dos observatorios geomagnéticos permanentes con mediadas tanto absolutas como relativas. Asimismo, se participa en campañas geofísicas tanto terrestres como marinas. Sus actividades principales de la investigación son en estructura, geodinámica y tectónica a través de campos potenciales, para lo que se emplea “Geosoft” como software de análisis.
- 3) Meteorología: Dispone de estaciones meteorológicas permanentes orientadas a corregir las observaciones astronómicas, geodésicas, etc.
- 4) Geodesia: El Servicio de Satélites posee una amplia experiencia en el seguimiento de satélites artificiales mediante tecnología láser, que nació con la instalación de una cámara Baker-Nunn a finales de los años 50. En la actualidad se dispone de una estación permanente de seguimiento de satélites artificiales por técnicas láser (SLR), única en su género en la zona Península Ibérica – Norte de África. Este Servicio posee además amplia experiencia en las aplicaciones GPS para la Geodinámica. Desde finales de 1995 se dispone de una estación permanente GPS co-instalada con la estación SLR, asociada al IGS, formando ambas parte del Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRF). Asimismo y con la finalidad de estudiar las deformaciones geodinámicas en la zona Sur de la Península - Norte de África, en el año 1994 se comenzó a desplegar una red temporal de observación geodinámica GPS, que se ha reobservado periódicamente. Asimismo, se comenzó a desplegar una red GPS permanente que, en la actualidad cuenta con diez estaciones desplegadas en la zona, algunas de

ellas co-instaladas con las sísmicas de BB. Para el procesado de los datos GPS se dispone del software GIPSY-OASIS II (JPL).

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. José Martín Dávila, Capitán de Fragata de la Armada y Jefe de la Sección de Geofísica del ROA, son:

- M. Catalán, J. Martín Davila and ZEEE Working Group (2005). “A magnetic anomaly picture offshore Canary archipelago”. *Marine Geophysical Researches*. Vol 24 (1-2), 129 - 148
- A. Muñoz, M. Catalán, J. Martín Davila, A. Carbó (2005). Upper Crustal structure of Deception Island area (Brandsfield Strait, Antarctica) from gravimetric and magnetic modeling. *Antarctic Science*. Vol. 17 (2), 213- 224 .
- A. Pazos, G. Alguacil and J. Martín Davila (2005). A simple method to extend the bandwidth of electromagnetic sensors. *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*. Vol. 95, 1940 –1947.
- J.J. Martínez Benjamín, J. Martín Davila, J. Garate, P. Bonnefond, A.M. Barón Isanta, et al. (2004). Ibiza Absolute calibration Experiment: Survey and Preliminary results. *Marine Geodesy*. Vol. 27, 657- 681.
- E. Buforn, J. Martín Davila y Udías, A. (Eds.) (2004). *PAGEOPH Topical Volumes: “Geodynamics of Azores-Tunisia”*. Birkhäuser Verlag. Berlín. 473- 772.

9. Grupo de Microgeodesia de la Universidad de Jaén

El grupo Microgeodesia de la Universidad de Jaén tiene entre sus líneas prioritarias de investigación el control de deformaciones del terreno en zonas tectónicamente activas con técnicas geodésicas de alta precisión (GPS, Nivelación, etc.). La zona donde ha realizado principalmente sus actividades es en la Cordillera Bética, especialmente en los sectores central y oriental, donde ha establecido redes GPS regionales no permanentes en la Cuenca de Granada y Cuenca de Bajo Segura y varios perfiles de nivelación en la ciudad de Granada y otro de 30 km entre La Marina y Torreveja (Alicante). En la actualidad está extendiendo este tipo de redes a otros sectores de interés como son la Falla de Zafarraya y Pliegue de Sierra Tejeda, así como la Falla de Balanegra y Sierra de Gádor. Los principales proyectos de investigación donde se encuadran estas actividades son los siguientes: Control de deformaciones a escala local y regional con técnicas geodésicas de alta precisión en zonas tectónicamente activas. Aplicación en el sector central de la Cordillera Bética, DGEIC PB97-1267-C03-03, Control de deformaciones verticales en el área de Torreveja mediante la comparación de nivelaciones de precisión, Acción Especial BTE2000-3337-E y Actividad tectónica actual de la falla de Balanegra y su relación con pliegues mayores, Acción complementaria CGL2004-0167-E.

Por otra parte, este grupo forma parte del consorcio GEOLOCALNET que participa desde enero de 2006 en el programa europeo GALILEO. Este programa es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea (EC) y de la Agencia Europea del Espacio (ESA) para proporcionar a Europa con su propio sistema global de navegación por satélites bajo control civil. GEOLOCALNET, es un consorcio coordinado por la empresa italiana Galileian Plus S.r.l. y formado por la Universidad de Jaén (España), la Universidad de Milán (Italia), la Universidad de Liubliana (Eslovenia) y las empresas Space Engineering S.p.A. (Italia) y Harpha Sea, d.o.o. (Eslovenia), para la realización del proyecto de investigación “Innovative Concepts for High Accuracy Local Geodetic Networks”, (Research And Development Activities, 6th Framework Programme, Call Number 2423, Area 3 – Innovation and International Initiatives. Innovation by Small and Medium Enterprises). Este proyecto tiene por objeto la elaboración de software para el tratamiento de datos de GALILEO. Se pretende diseñar algoritmos, modelos y procedimientos para mejorar la exactitud, así como promover el empleo de las redes geodésicas locales para el control de deformaciones.

Los ámbitos de investigación de los componentes del grupo Antonio J. Gil, Clara de Lacy y Antonio M. Ruiz son Geodesia, GPS y Galileo, y de Vicente López Sánchez-Vizcaíno Petrología, Geoquímica y Geología Isotópica.

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Antonio José Gil Cruz, Catedrático de la escuela Politécnica Superior de la Universidad de Jaén, son:

- Lacy, M.C., Sansò, F., Gil, A.J., Rodríguez-Caderot, G. (2005). A method for the ionospheric delay estimation and interpolation in a local GPS network. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 49 (1), 63-84.
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A.J., Borque, M.J., González-Lodeiro, F., Jabaloy, A., Marín-Lechado, C., Ruano, P., Sanz de Galdeano, C. (2003). Active faulting in the internal zones of the central Betic Cordilleras (SE, Spain). *Journal of Geodynamics*, 36 (1-2), 239-250. **Citado 11 veces.**
- Ruiz, A.M., Ferhat, G., Alfaro, P., Sanz de Galdeano, C., de Lacy, M.C., Rodríguez-Caderot, G., Gil, A.J. (2003). Geodetic measurements of crustal deformation on NW-SE faults of the Betic Cordillera, southern Spain, 1999-2001. *Journal of Geodynamics*, 35 (3), Pages 259-272. **Citado 5 veces.**
- Gil, A.J., Rodríguez-Caderot, G., Lacy, M.C., Ruiz, A.M., Sanz de Galdeano, C., Alfaro, P. (2002). Establishment of a non-permanent GPS network to monitor the recent NE-SW deformation in the Granada Basin (Betic Cordillera, Southern Spain). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 46 (3), 395-410. **Citado 2 veces.**
- Lacy, M.C., Rodríguez-Caderot, G., Marín, E., Ruiz, A., Borque, M.J., Gil, A.J., Biagi, L. (2001). A gravimetric geoid computation and comparison with GPS results in Northern Andalusia (Spain). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 45 (1), 55-66. **Citado 1 vez.**

10. Grupo de Geocronología de la Universidad de Cádiz

El grupo está formado por un experto en geocronología (L. Barbero) y un experto en tectónica (J. Vázquez). El Dr. Luis Barbero comenzó su carrera investigadora estudiando procesos de génesis de granitoides en condiciones de corteza media en la parte axial del Hercínico Ibérico. Trabajó sobre problemas de desequilibrio isotópico durante la fusión en condiciones granulíticas en el Scottish Universities Research and Reactor Center (East Kilbride, Reino Unido). En la Universidad de Glasgow estudió los problemas de diacronismo en eventos metamórficos Dalradienses mediante geocronología Sm-Nd de alta precisión. Posee amplia experiencia en geocronología con sistemas Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb y K-Ar. En la Universidad de Cádiz desde 1995, comienza a investigar el campo de la geología isotópica de baja temperatura, aprendiendo técnicas de termocronología mediante huellas de fisión en una estancia en el University College de Londres. Posteriormente, mediante un proyecto financiado por la CE pone en marcha el primer laboratorio de huellas de fisión del país y desde aquel entonces realiza investigaciones en dos grandes temáticas: a) exhumación de cordilleras, habiendo trabajado en la parte central del Hercínico Ibérico, en problemas de exhumación en los Andes patagónicos y en el Alto Atlas marroquí; y b) estudios de evolución termal de cuencas sedimentarias, trabajando en las zonas externas de la Cordillera Bética y en la cuenca de Cameros situada en la cordillera Ibérica. Desde el punto de vista metodológico ha colaborado en el desarrollo de una nueva técnica de datación mediante el estudio de las huellas de retroceso alfa en colaboración con el Instituto Max Plank de Física Nuclear. Ha participado en un total de 11 proyectos nacionales e internacionales, en 3 de los cuales ha sido Investigador Principal.

El Dr. J. Tomás Vázquez dedica su actividad investigadora al análisis estructural y estratigráfico del subsuelo mediante la utilización de perfiles sísmicos de reflexión de distinto rango. Sus principales líneas de interés son la neotectónica y tectónica cenozoica, así como el análisis de cuencas sedimentarias y la evolución de márgenes continentales. Tiene una amplia experiencia en la adquisición, procesado e interpretación de perfiles sísmicos de reflexión. Realizó su tesis en la

Estructura de la Cuenca del Mar de Alborán y destacan sus trabajos sobre el Golfo de Cádiz, así como sobre el margen Pacífico de la Península Antártica y el límite entre los mares de Scotia y Weddell. Comenzó su actividad investigadora estudiando el margen continental mediterráneo y en la actualidad ha comenzado a trabajar en los márgenes cantábrico y gallego. Ha participado en 18 proyectos nacionales, entre los que destacan 5 realizados dentro del programa nacional antártico sobre procesos de formación de cuencas oceánicas, fragmentación continental y construcción de márgenes de altas latitudes (ANTPAC, SCOT, SCAN) y 3 sobre la evolución tectónica y sedimentaria del Golfo de Cádiz (FADO, TASYO; GADES), así como dos acciones contempladas en el marco del programa EUROMARGINS de la ESF dedicadas al estudio de la relación entre actividad tectónica y la presencia de gases hidratados en el Golfo de Cádiz.

Cinco artículos relevantes del Investigador Responsable de este Grupo, Dr. Luis Barbero González, Profesor Titular de Petrología y Geoquímica de la Universidad de Cádiz, son:

- Barbero, L., And Villaseca, C (1992). The Layos Granite, Hercynian Complex Of Toledo (Spain) - An Example Of Parautochthonous Restite-Rich Granite In A Granulitic Area. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 83, 127-138. Times Cited: 21
- Barbero, L., Villaseca, C., Rogers, G., And Brown, P.E. (1995). Geochemical And Isotopic Disequilibrium In Crustal Melting - An Insight From The Anatectic Granitoids From Toledo, Spain. *J. Geophys. Res.*, 100, 15745-15765. Times Cited: 47
- Barbero, L. (1995). Granulite-Facies Metamorphism In The Anatectic Complex Of Toledo, Spain - Late-Hercynian Tectonic Evolution By Crustal Extension. *J. Geol. Soc. London*, 152, 365-382. Times Cited: 10
- Villaseca, C., Barbero, L., And Rogers, G. (1998). Crustal Origin Of Hercynian Peraluminous Granitic Batholiths Of Central Spain: Petrological, Geochemical And Isotopic (Sr, Nd) Constraints. *Lithos*, 43, 55-79. Times Cited: 29
- Villaseca, C., Downes, H., Pin, C., And Barbero, L. (1999). Nature And Composition Of The Lower Continental Crust In Central Spain And The Granulite-Granite Linkage: Inferences From Granulitic Xenoliths. *J. Petrol.*, 40, 1465-1496. Times Cited: 14

Proyectos de Investigación relevantes, de ámbito internacional, desarrollados por miembros del equipo Topo-Iberia.

Título del proyecto o contrato	Investigador Principal	Subvención concedida	Entidad financiadora y referencia del proyecto	Periodo de vigencia
		EURO		
Structure of the crust under the volcanic zone of Olot and lateral variations from seismic refraction techniques.	J. Gallart	9.044.000 Pts	Commission of the European Communities - JOULE Programme (EN3G-0074-EB)	1986 - 1989
Climatología y riesgos naturales. Climatic changes in the NE Iberian Peninsula from 127.000 y BP to Holocene	R. Julia	54.842 €	CEEU - Comunidad Económica Europea	1987-1989
Paleozoic geodynamic domains and their alpidic evolution in the Tethys.	D. Papanicolau, F.P. Sassi y A. Sinha		IGCP Project nº276. UNESCO	1987-1992
ILIHA: Iberian Lithosphere Heterogeneity and Anisotropy.	A. López Arroyo/J.Gallart	Total:1.202.000 ECU;	Commission of the European Communities - SCIENCE Programme (ST2P-0389-C-A)	1988-1991
Variscan Iberian Belt 43 N transect	A.Pérez Estaún		Global Geosciences Transect Projects	1989-1992
Comparative Studies of Intraplate Mountain Belts in Iberia and the Rocky and Ancestral Rocky Mountains of North America	A. Pérez Estaún		NATO	1989-1992
STREAMERS: Structural Transects of the Rim of Europe to Africa by Marine Exploration Reflection Seismics.	A. Hirn	1.000.000 ECU	Commission of European Communities - JOULE Programme	1990-1993
Paleocene/Eocene Boundary Events	E. Molina		IUGS/UNESCO.	1990-1993
Seismic Risk in Mexico City associated to the crustal structure in seismic active zones by means of deep seismic sounding (RISICO)	D. Córdoba		Commission of the European Communities CII*0635M./JR	1991-1993
Temporal occurrence and forecasting of landsliding in E.C.	J. Coromines	24.040 €	CEEU - Comunidad Económica Europea PL89-0146	1991-1993
Europeprobe, The tectonic evolution of Europe from the Ural Mountains to the Atlantic Ocean	Dr. Gee		European Science Foundation	1991-1996
Origin and evolution of desertification in the mediterranean environment in Spain	R. Julia	48.080 €	UNER - Unión Europea EV5V-CT91-0037	1992-1994
Geophysical study of intraplate volcanism: Canary and Society Archipelagos.	J.J. Dañobeitia	130.000 ECU	Commission of European Communities - Twinning Programme	1992-1994

On the best estimate of the geoid and of the sea topography in the Mediterranean Sea	M.J. Sevilla	170.000 ECUS	Plan Science CEE – Contrato SCI-CT92-0808	1992-1994
Iberian Atlantic Margins IAM	E. Banda	1.300.000 ECU	Commission of the European Communities-JOULE Programme	1992-1994
Integrated Basin Studies. IBS Project	Sierd Cloetingh et al.	Total: 360.450.000 ptas UB: 23.229.000 ptas	Comunidad Europea . Joule II Programme (JOU2-CT92-110).	1993-1995
Formation modelling of the Guadalquivir Foreland Basin: Integrated Basin Studies	M. Fernández		Unión Europea (JOU2-CT92-110)	1993-1995
FOURNASEIS: Fournaise operation of undershooting, refraction and normal angle seismic sounding. Seismic tomography of Piton de la Fournaise volcano.	J. Gallart	Barcelona: 316.250 ECU. Total: 814.000 ECU	Commission of the European Communities - Environment Programme (EV5VCT92-0188)	1993-1996
ETNASEIS: Etna tomography. Novel approach by seismology. Etna volcano behavioural model.	J. Gallart	213.000 ECU	Commission of the European Communities - Environment Programme (EV5VCT92-0187)	1993-1996
European Laboratory Volcanoes: Teide. Definition of the fine structures and the plumbing system aimed at eruption prediction, hazard assesment and eruptive mechanism understanding	J. Martí		Programa EVOP, C.E.E	1993-1996
Contribution à l'étude de la dynamique des avalanches dans un but de cartographie du risque. Formation à la modelisation dans le domaine des phenomènes naturels	J.L. Vilaplana, G. Brugnot	76.629 €	CEEU - Comunidad Económica Europea CHRX-CT93-0307	1993-1996
Evolution and Correlation of Epicratonic Peritethyan Basins. Proyecto 343	J. Dercourt		Network CEE. Euro-Tethys Conference	1993-2000
Atlas of Geothermal Resources in Europe. Spain	M. Fernández		Unión Europea (JOU2-CT93-0298)	1994-1997
Comparative geophysical transects across Costa Rica	J.J. Dañobeitia	55.000 ECU	Commission of European Communities - ALAMED Programme	1994-1997
Palaeomagnetic constrains and structural block rotations in orogenic zones from Mexico and Spain	M.L. Osete, R. Vegas, J.M. Parés, J. Urrutia, D. Tarling	30.000 €	Proyecto Comunidades Europeas, CI I-CT94-0114	1994-1998

The uralide orogen- a key to understanding collisional orogenesis	A.Pérez Estaún	90.000 €	INTAS INTAS-94-1857	1995-1996
Geodynamic Modelling of the Western Mediterranean	M. Fernández	84.017 € (global 370.000 €)	Unión Europea (CHRX-CT94-0607)	1995-1998
ODP Leg 161 - Med II, Mar de Alborán,	(Co-chief scientist). M.C. Comas		ODP /JOIDES / NSF (EEUU)	1995 - 1999
Snow avalanche mapping and warning in Europe	J.L. Vilaplana	55.076 €	UNER - Unión Europea ENV4-CT96-0258	1996-1998
Sea Level Fluctuations in the Mediterranean: Interactions with climate processes and vertical crustal movements (SELF II).	S. Zerbini Coor. España: L. Tejedor		Unión Europea (ENV4-CT95-0087).	1996-1998
Investigation and modelling of the physical characteristics and properties of snow at the surface of polar ice sheets	J. Calvet	54.091 €	UNER - Unión Europea PL95-1444	1996-1999
FEBEX: Full scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock	Fco. Javier Elorza		Union Europea y ENRESA. Contract nº FI4W-CT95-0006	1996-1999
URO, TMR Network	A. Pérez Estaún		Commission of the European Communities ERBMXCT 960009	1996-2000
Plan de asistencia al sector minero de la República Argentina (PASMA): Subcomponente C.1. Programa C.1.a (Cartografía Geológica y Temática)	V. Gabaldón / L. R. Rodríguez	1.120.000 US dólares	BIRD Banco Mundial Préstamo L-3927-AR	1996-2001
CHESS: Climate, Hydrochemistry and Economics of Surface Waters Systems.	Fco. Javier Elorza		Union Europea. Contract nº ENV4-CT97-0440	1997-2000
Development of a methodology for detecting deep metal ore deposits through physic-chemical analysis of fluids in shallow boreholes	H. Pauwels		Unión Europea (Actual cost contract nº BRPR-CT97-0374)	1997-2000
CLIPLEX: Clay Instrumentation Programme for the Extension of an Underground Research Laboratory.	Fco. Javier Elorza		Union Europea y ENRESA. Contract nº FI4W-CT96-0028	1997-2001
Big sources of earthquake and tsunami in SW Iberia	J.J. Dañobeitia	91.000 €	UE ENV4-CT97-0547	1998-2000
Caracterización del potencial sísmico de la falla de Carboneras (Almería) mediante trincheras	P. Santanach	78.131 €	CERG - Commission of the european communities ENV4-CT97-0578	1998-2000
Meteorological applications of GPS: Integrated column water vapor measurements in the western Mediterranean (MAGIC)	Coord: J. Hasse (ACRI) IP ROA: J. Martín Dávila	100.000 €	UE – ENV4 – CT98-0745	1998-2000

FAUST: Faults as a seismologist's tool	UB:P. Santanach	78.132 €	UE	1998-2001
Thermal evolution of the Norwegian margin	M. Torné	234.431 €	NORSK-HYDRO	2000-2001
Upgrading of San Fernando Laser Tracking Station	Contratante: R. Boloix IP ROA : J. Martin Dávila		Agencia Espacial Europea Contract 13833/99/NL/SF	2000-2001
Human interaction with large scale coastal morphological evolution (HUMOR)	Dr. Losada		European Comission (UE), N°.: EVK3-2000-22014	2000-2003
FEBEX II: Full scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock	Fco. Javier Elorza		Unión Europea y ENRESA. Contract nº FIKW-CT-2000- 00016	2000-2004
Study of the variscan evolution in SW Iberian Peninsula	J. Pous	60.104	UNER - Unión Europea HPMF-CT-2001-01358	2001-2002
Study of the variscan evolution in SW Iberian Peninsula	J. Pous	60.104 €	UE HPMF-CT-2001-01358	2001-2002
Joint European Ocean Drilling Initiative (JEODI)	Dr. J. Ludden .,I IP en España: M.C: Comas		European Comission (UE), N°: EVR1-CT-2001-20003	2001-2003
SAFE: Slow active faults in Europe	UB: P. Santanach	87 646 € 30 000 €	UE	2001-2004
How folding is accommodated at minor scale? Comparison between three types of folds	J. Vergés	112.000 €	Unión Europea (Programa Marie Curie)	2002-2003
The Iberian-African plate boundary: lithospheric structure and geodynamic evolution	M. Fernández	22.700 €	NATO (EST.CLG.978922)	2002-2004
BMW Benchmark Models for the Water framework directive	Fco. Javier Elorza		Unión Europea. Contract nº EVK1-CT-2001-00093	2002-2004
Avalanche studies and model validation in Europe(SATSIE)	E. Suriñach	109.999 €	UNER - Unión Europea EVG1-CT-2002-00059	2002 -2005
European Sea-level Service: Research and infrastructure	Coord: H.P. Plag IP Contratante ROA : J. Martin Dávila	ROA: 60.000 €	UE EVR1-CT-2002-40025	2002-2005
Ocean Drilling Program, ODP Leg 204	G. Bohrmann & A. M. Tréhu		National Science Foundation (Estados Unidos), y otros	2002-2005
EUROCORES- EUROMARGIN. "Imaging the Western Mediterranean Margins: A key target to understand the interaction between deep and shallow processes	M. Fernández		ESF: 01-LEC-EMA22F	2003 - 2005

Record of deformation and uplift of the Atlas mountains (Morocco): an integrated approach.	A. Teixell	17.000 €	NATO	2003-2005
ASSEMBLAGE, Assessment of the Black Sea sedimentary system since the last glacial extreme,	G. Lericolais		Unión Europea EVK3-CT-2002-0090	2003-2006
EuroMargins WESTMED: Estructura cortical y litosférica, movimientos verticales y dinámica sedimentaria en el margen septentrional del Mediterráneo Occidental	M. Fernández	17.505 €	ESF - EUROCORES EuroMargins- Plan Nacional I+D+I, MICYT (REN 2003-05996)	2003-2006
PROMESS 1, PROfiles across MEditerranean Sedimentary Systems. Part 1	S. Berne		Unión Europea EVR1-CT-2002-40024	2003-2006
Forcing of carbonate mounds and deep water coral reefs along the nw european continental margins (MOUNDFORCE)	L. Somoza	70.000 €	ESF EUROCORE- EUROMARGINS 01-LEC-EMA06F	2003-2007
Tectonic control, deep structure and fluid escape pathways in the gulf of Cádiz mud volcano field (MVSEIS).	L. Somoza	50.000 €	ESF EUROCORE- EUROMARGINS 01-LEC-EMA24F	2003-2007
Estructura geológica del borde meridional de la cordillera del Atlas (Marruecos): implicaciones sobre la actividad tectónica reciente y la sismicidad	A. Teixell	15.635 €	Proy Interuniv. Hispano- Marroquí. AECI (Ministerio de Asuntos Exteriores)	2004-2006
THALES WAS RIGHT. Transients in the Hellenic and Antilles Locci of Earthquakes of European Subductions: Water Activity, Structure and Seismic Risk Illuminated by Geophysical High-Technology	A. Hirn/J.Gallart	1.748.000 €	UE- FP6-2004-NEST-C-1 (FP6- 029080-2)	2005-2007
Fundamental Processes of Radionucleide Migration (FUNMIG)	R. Carbonell	• 150.000 €	• European FP6 F16W 516514	2005-2008
Carbonate Reservoir Geomodels	J.C. Braga	•	• RF-Rogaland Research- Norwegian Science Foundation	2005-2008
NEAREST. Integrated observations from near shore sources of Tsunamis: Towards and Early Warning System	N. Zitellini	• 2.850.000 €	• European Union, STREPS – Global Change and Ecosystems Programme. (FP6- 037110)	2006-2008
Geophysical Oceanography – a new tool to understand the thermal structure and dynamics of oceans (GO)	R. Carbonell	• 130.000 €	• European FP6 2003 NEST B 3 015603-2	2006-2010

3 RESEARCH GROUP FUNCTIONAL STRUCTURE

The *Topo-Iberia* Team is composed by more than 100 PhD researchers coming from 10 different Spanish institutions, Universities and Public Research Centres. Their members cover a widespread range of thematic and regional disciplines and methodologies, as it will be detailed hereafter. A major aim of the programme is to integrate all these investigations into a common framework: the relationship between the topography and the 4-D evolution of Iberia.

The scientific output of the Team members can be summarized, according to their CVs and the 'ISI Web of knowledge' dataset, into a total of 1698 research papers published in SCI Journals, which have been cited 18503 times. The global output of the Team, excluding the paper duplicities between different members or groups, is of 1194 papers and 12766 citations, with an average of 10.7 citations/paper. Just for comparison, in the period 1995-2005 the 'ISI Web of knowledge' dataset shows that the *Topo-Iberia* research team has published 16 % of the papers of all the Spanish Geoscience community, and they have received 20 % of the citations for this whole community.

The Coordinator of the project is Dr. Josep Gallart Muset, Research Professor of the Institute of Earth Sciences-CSIC, Barcelone. His scientific activity focus on studies on the Earth structure and dynamics, based on geophysical/seismic methods, developed in different geotectonic environments, such as orogenic systems (Pyrenees, Himalaias-Tibet, Urals,..), continental margins, subduction zones, volcanic systems, etc. He has leaded a dozen of Spanish research projects and 6 European Union projects. He has published 70 papers in SCI Journals, which have been cited 1267 times, with an average of 18.1 Citations/paper. He has an h (*Hirsch*) index of 20. Five of his relevant publications are:

- Daignières, M., Gallart, J., Banda, E. And Hirn, A. "Implications of the seismic structure for the orogenic evolution of the Pyrenean range". *Earth and Planetary Science Letters*, 57, (1982), pp. 88-100. Impact Factor (2004): 3.5. Times Cited: 80
- Hirn, A., Nicolich, R., Gallart, J., Laigle, M., Cernobori, L. And The Etnaseis Scientific Group. "Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes". *Earth and Planetary Science Letters*, 148, (1997), pp. 171-191. Impact Factor (2004): 3.5; Times Cited: 69
- Hirn, A., Jiang, M., Diaz, J., Nercessian, A., Sapin, M., Lu, Q.T., Lepine, J.C., -Shi, D.N., Sachpazi, M., Pandey, M.R., Ma, K. And Gallart, J. "Seismic anisotropy as an indicator of mantle flow beneath the Himalayas and Tibet". *Nature*, 375, (1995), pp. 571-574. Impact Factor (2004): 32.18. Times cited: 50
- Carbonell, R., Perez-Estaun, A., Gallart, J., Diaz, J., Kashubin, S., Mechie, J., Staatlander, R., Schulze, A., Knapp, J.H. And Morozov, A. "Crustal root beneath the Urals: Wide-angle seismic evidence". *Science*, 274, 5285, (1996) pp. 222-224. Impact Factor (2004): 31.85. Times cited: 44
- Banda, E., Gallart, J., Garcia-Dueñas, V., Dañobeitia, J.J. And Makris, J. "Lateral variation of the crust in the Iberian Peninsula. New evidence from the Betic Cordillera". *Tectonophysics* , 221, (1993), pp. 53-66. Impact Factor (2004): 1.84. Times cited: 43

Research topics of the groups that compose the *Topo-Iberia* Team

1. Group of Earth Structure and Dynamics, Institute of Earth Sciences-CSIC Barcelona

Their research can be summarized in three main topics:

Tectonophysics.

This is the most representative research line of the group, involving all their members. It focuses on the study of the structure and dynamics of the lithosphere. The objectives are broadly applied to a number of tectonic settings that include collisional orogens, active and passive margins, and sedimentary basins, and are:

- To construct integrated petrophysical models of the lithosphere and underlying mantle at regional and global scales using potential fields, seismic velocities (from field experiments and laboratory measurements), thermal fields, and petrology.
- The study of the deformation of the lithosphere combining seismic profiling, surface geology, and numerical modeling.
- To study how deep-seated processes affect the whole crustal column and interact with surface processes.

Applied Geology and Geophysics.

This line implies a collaborative research mainly with industry in the energy, geotechnical, and environmental sectors. These activities are not only directed to industry, but also to the scientific community since it forms part of our academic research. The main objectives are:

- In the energy sector, the geological structures and thermal conditions favourable to formation and trapping of hydrocarbons.
- In the geotechnical sector, the study of the subsurface characteristics for the building of large-scale infrastructures such as tunnels, highways, and pipelines.
- In the environmental sector, the objectives are focused on prospecting for hazardous waste disposal sites and CO₂ sequestration reservoirs.

Development of Geophysical Methodologies.

This line implies the development of new geophysical methodologies, which involves:

- Research into new methods for seismic wave signal detection and processing, inversion methods (travel time, full waveform), and modelling of wave propagation.
- Development of new algorithms in Eulerian schemes that describe the kinematics of an interface during deformation to integrate geophysical and petrological data.

2. Group of Geodynamics and Geophysics from the University of Granada

This group is formed by researchers from different fields of the Earth Sciences. A significant part F. González Lodeiro (F. G. L), J. I. Soto Hermoso (J. I. S), G. Booth Rea (G. B-R), D. Martínez Poyatos (D. M-P); F. Simancas Cabrera F. S. C.), J. C. Balanya Roure J. C. B-R), A. Jabaloy (A. J), I. Expósito (I. E.), J. Galindo Zaldívar (J. G-Z), J. M. Martínez (J. M. M.), A. Crespo Blanc (A. C. B), M. Orozco (M. O.), M. Díaz Azpiroz (M. D-A), Antonio Azor (A. A.) J. M. Azañón (J-M. A.)M. C. Comas (M. C. C) C Sanz de Galdeano (C. S. G) work in subjects as Structural Geology, Tectonics and Subsurface Geology.

Most of the researchers have developed their activity in the Rif-Betic Mountains (F. G. L, J. I. S, G. B-R, D. D. M-P, F. S. C., J. C. B-R, A. J, J. G-Z, J. M. M., A. C. B, M. O., M. C. C, A. A., J-M. A, y C. S. G.); the Iberian Massif (F. G. L, D. M-P, F. S. C., J. G-Z, A. C. B, M. O., I. E., M. D-A, A. A.), the Morocco Plateau (F. G. L., F. S. C.; A. A., D. M-P y J. G-Z.) and the Anti-Atlas region (F. G. L., F. S. C.; A. A. y D. M-P). Geomorphology and relief evolution in the Rif-Betic Mountains have been studied by A. A. and J-M. A.

J. Martín Martín, J-C. Braga, M. C. Comas, P. Rivas, E Martín Suárez, M. Ortega y F. Martínez Ruiz have large expertise in subjects related to paleoclimatology, climatic change, paleogeography, sedimentology and paleontology in the Rif-Betics domain. Geophysical studies (p.e. refraction profiling and seismic tomography) will be covered by José Morales, I Bermejo, D. Stich and M-T Teixido. Finally, M. Ortega, M-T Gómez Pugnaire and F. Martínez Ruiz have expertise in petrology, mineralogy and isotopic geology.

The attached CVs illustrate the activity of the researchers in previous projects closely related to the main objectives of Topo-Ibérica. All the researchers have developed their scientific activity in collaboration with Moroccan geologists and geophysicists in the framework of research projects supported by the Agencia Española de Cooperación Internacional and the Consejería de la Presidencia de la Junta de Andalucía.

Five relevant contributions of the Scientific Responsible of this group, Dr. Francisco González Lodeiro, Catedrático de Geodinámica from the Universidad of Granada, are:

- Morales J, Serrano I, Jabaloy A, Galindo-Zaldívar J, Zhao D, Torcal F, Vidal F, González-Lodeiro F (1999). Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea. *Geology* 27 (8): 735-738, Times cited: 38
- Monie P, Galindo Zaldívar J, González Lodeiro F, Goffe B, Jabaloy A (1991). Ar-40/Ar-39 Geochronology of alpine tectonism in the Betic cordilleras (Southern Spain). *Journal of the Geological Society* 148: 289-297. Times cited 71
- Goffe B, Michard A, García Dueñas V, González Lodeiro F, Monie P, Campos J, Galindo Zaldívar J, Jabaloy A, Martínez Martínez JM, Simancas JF (1989). 1ST evidence of high - pressure, low-temperature metamorphism in the alpujarride nappes, Betic Cordilleras (SE Spain). *European Journal of Mineralogy* 1 (1): 139-142 1989. Times cited: 77
- Galindo Zaldívar J, González Lodeiro F, Jabaloy A (1989). Progressive extensional shear structures in a detachment contact in the western Sierra Nevada (Betic-Cordilleras, Spain). *Geodinamica Acta* 3 (1): 73-85 1989. Times cited: 66
- Galindo Zaldívar J, González Lodeiro F, Jabaloy A (1993). Stress and paleostress in the Betic-Rif Cordilleras (Miocene to the present) *Tectonophysics* 227 (1-4): 105-126. Times cited: 37

3. Group of Geodynamics and Geophysics from the University of Oviedo

The scientific activity of this group has been mainly focused in the investigation of the geological structure and tectonic evolution of the NW Iberian Peninsula. The group activity improved the geological knowledge of a large region, 800 km long and 150 km wide, from the tertiary mesozoic cover (cobertera) of Cantabrian-Basque Country and Pyrenees to the Atlantic coasts of Galicia. First step in this geological improvement of such a large region has been a significant effort devoted in elaboration of detailed geological maps, necessary to infer the structure and tectonic evolution. As an example, it can be noted that up to 50 sheets of the E 1:50.000 series and up to 6 sheets of the E 1:200.000 series of the official Geologic Map of Spain have been produced, exclusively or in collaboration with other institutions, by the members of this group. A large amount of other geological maps have been published as part of scientific articles and reports, PhD Thesis, Master Thesis etc.

The contribution of this group to the geological knowledge of Northern Spain is evidenced by more than 300 scientific publications, both in national and international journals with maximum diffusion in the Earth Science fields, as: *American Journal of Science, Neues Jahrbuch für Geologie und Palaeontologie, Geological Journal, Tectonophysics, Hercynica, Tectonics, Geologische Rundschau, Sciences Geologiques, Journal of Structural Geology, Annales Geophysicae, Economic Geology, J. Geol. Soc. London, Bull. Geol. Soc France, Geodinamica Acta, Geophysical Research Letters, Journal of Geophysical Research, Marine Geology, Geology, AAPG, etc.*, as well as in books or monographic volumes edited in Spain or elsewhere.

The scientific activity of the group is also reflected in their participation in a significant number of financed Research Projects during the last years. A large number of those projects are within prior objectives of the Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, in the “Recursos Geológicos” and “I+D en Medio Ambiente” programs.

Research topics of this Group are:

-
- Structure and dynamics of the lithosphere: refraction-wide angle and vertical reflection seismics, seismicity, seismotectonics and seismic hazard. Geodynamic evolution of continental margins and marine sedimentary basins. Geodynamic implications. Numerical modeling of geodynamic processes of basin formation and orogenic uplift.
- Crustal deformation processes: orogenic and sedimentary basins evolution. Structural geology and tectonics of orogenic zones. Geometry and kinematics of folds and faults. Tectonics-sedimentation relationship. Regional geology (Iberian variscan orogen, Pyrenean-Cantabrian orogen, north-Iberian continental margin).
- Exploration of mineral resources and subsurface studies. Modeling of reservoirs. Structural and geophysical methods applied to hydrocarbon and natural resources exploration, environment and engineering purposes.

An outstanding part of the research activity is devoted to the crustal structure of the NW Iberia and its margins by integrating surface geology with geophysical data. In the last decade, 5 research projects funded by the Spanish agency have been devoted to this topic, involving a great amount of acquisition of geophysical data at sea and on land, and providing results on lithospheric structure presented to the scientific community through relevant international publications.

Five significant contributions of the Principal Investigator of this Group, Dr. Francisco Javier Alvarez Pulgar, Catedrático de Geodinámica de la Universidad de Oviedo, are:

- Bastida, F., Martínez Catalán, J.R. y Pulgar, J.A. (1986): Structural, metamorphic and magmatic history of the Mondoñedo nappe (Hercynian belt, Nw Spain). *Journal of Structural Geology*, 8 (3-4), p. 415-430. Times cited: 36
- Pérez Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez Marrón, J., Marcos, A. y Pulgar, J.A. (1988): A thin-skinned tectonic model for an arcuate fold and thrust belt: The Cantabrian Zone (Variscan Ibero-Armorican arc). *Tectonics*, 7(3), p. 517-537. Times cited: 72
- Alonso, J.L., Pulgar, J.A, García-Ramos, J. C. Y Barba, P. (1996): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). In: P. F. Friend and C. J. Dabrio (Eds.) *Tertiary Basins of Spain: Tectonics, Climate and Sea-Level Changes*, p. 214-227. Cambridge University Press, Cambridge. (ISBN: 0-521-46171-5). Times cited: 25
- Pérez Estaún, A ., Pulgar, J. A., Banda, E., Álvarez Marrón, J. and Esci-N Research Group (1994). Crustal structure of the external variscides in NW Spain from deep seismic reflection profiling. *Tectonophysics*. 232, p. 91-118. Times cited: 25
- Pulgar, J.A., Gallart, J., Fernández-Viejo, G., Pérez-Estaún, A., Álvarez-Marrón, J. and Escin Group (1996): Seismic Image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the Pyrenees from integrated ESCIN reflection and refraction data. *Tectonophysics*, 264, 1-20. Times cited: 22

4. University of Barcelona (UB) Geodynamics and Geophysics Group

The members of the UB group have experience in the methodologies of structural geology (Casas, Guimerà, Ruano, Sàbat, Santanach), basin analysis (Salas, Guimerà), geomorphology and natural hazards (Furdada, Marqués, Vilaplana, Pallàs) and in geophysics, particularly in seismology (Suriñach, Khazaradze), magnetotellurics (Pous), prospecting (Rivero), lithospheric structure (Pous, Suriñach, Rivero) and numerical modeling (Khazaradze), high-precision geodetic and leveling networks applied to active tectonics (Khazaradze, Suriñach), paleoseismology (Masana, Santanach), and in the field of geochronology the group has experience in methods based on cosmogenic isotopes (Bourlès, Braucher, Pallàs). Regionally all the members of the group have performed a significant part of their research in the Iberian Peninsula. They have also worked in the Italian Peninsula and Greece (Masana), in the Alps (Suriñach, Furdada, Vilaplana, Khazaradze), Scandinavia (Suriñach, Khazaradze), in the northwestern US (Khazaradze), Central America (Furdada, Vilaplana, Pallàs, Marqués, Santanach, Masana), the Andes (Sàbat, Masana, Santanach, Salas, Khazaradze, Furdada), Antarctica (Sàbat, Casas, Vilaplana, Furdada, Santanach, Pallàs, Suriñach), Morocco (Guimerà, Ruano, Rivero) and the Tien Shan, China (Ruano). All the researchers in the group have participated in the last year in projects funded by national agencies. Among the projects funded by the UE in which have participated members of the UB group we highlight: FAUST (ENV4-CT97-0528, 1998-2000) and SAFE (ENGV-CT2000-00023, 2001-2004) in paleoseismology, SAME (ENV4-CT96-0258, 1996-1998) and SATSIE (EVG1-CT2002-00059, 2003-2006) in dynamics, instrumentation and modeling of snow avalanches and ENV4-CT95-0134, 1996-1999 in the field of erosion and environmental impact related to hydrology. Members of the UB group have also been part of programs MAST (1997-2000) and EUROPROBE (2001-2002) in different fields of geophysics, and also in INTERREG II in the field of natural hazards (2000-2001). In the field of GPS, the group has participated in Andean projects SFB267, 1999-2002 and 2002-2004 (Germany) and in projects in the northwestern US 1434-HQ-98-GR-1027, 1998-2000 and EAR9616302, 1997-1999 funded respectively by the USGS and US NSF.

Five relevant contributions of the Principal Investigator head of this group, Dr. Pedro Francisco Santanach Prat, Professor of Geodynamics in the University of Barcelona are:

- J. Carreras, M. Julivert, **P. Santanach** (1980): Hercynian mylonite belts in the Eastern Pyrenees: an example of shear zones associated with late folding. *J. Struct. Geol.*, 2, 5-9. 33 citations in ISI journals.
- P. Anadón, F. Colombo, M. Esteban, M. Marzo, S. Robles, **P. Santanach**, L. Solé Sugañes (1979): Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides. *Acta Geol. Hispanica*, 14 (1979), 242-270. 39 citations in ISI journals.
- P. Anadón, L. Cabrera, J. Guimerà, **P. Santanach** (1985): Paleogene strike-slip deformation and sedimentation along the southeastern margin of the Ebro Basin. In: Biddle, K.T. & Christie-Blick, N. eds., *Strike-Slip deformation, basin formation, and sedimentation, Soc. Econ. Pal. Min. Special Publ.*, 37, 303-318. 62 citations in ISI journals.
- J.M. Fontboté, J. Guimerà, E. Roca, F. Sàbat, **P. Santanach**, F. Fernández-Ortigosa (1990): The Cenozoic geodynamic evolution of the València Trough (western Mediterranean). *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 249-259. 42 citations in ISI journals.
- E. Masana, E., J.J. Martínez-Díaz, J.L. Hernández-Enrile, **P. Santanach** (2004): The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary. Seismotectonic implications for the Ibero-Magrebian region. *Journal of Geophysical Research*, 109 (B01301), doi: 10.1029/2002JB002359, 1-17. 2004. 1-17. 5 citations in ISI journals.

5. Complutense University of Madrid (UCM) Tectonophysics and Geophysics group

This group is formed by researchers belonging to two departments of the UCM: Department of Geodynamics, Faculty of Geology; and Department of Geophysics, Astronomy, and Astrophysics I, Faculty of Physics. Part of this group are also two researchers from the Department of Geology from the University of Zaragoza, which have collaborated with the UCM group in different research areas during the last few years.

The research fields of the members of the Department of Geodynamics are: Cenozoic tectonics of the Iberian microcontinent (G. de Vicente y R. Vegas), tectonics and geophysics (A. Muñoz Marín), applied geophysics (A. Carbó), Cenozoic volcanism (P. Llanes), brittle deformation, structural geology, tectonics-neotectonics (L. Antón), nucleation of Cenozoic deformations in Variscan discontinuities (JM. González Casado), numerical simulation of coupled phenomena, fractured geological media, inverse problems and complex systems (FJ Elorza), quantification of the internal deformation in orogenic belts, stress-strain relationships and evolution of volcanic edifices, and granitic batholith emplacement and fluid segregation in migmatites (C. Rodríguez-Fernández).

The research fields of the Department of Geophysics, Astronomy and Astrophysics I can be summarized in: geophysics, active-source seismic profiles (D. Córdoba), seismology, anisotropy, chaos y and self-organization (J. Téllez), tectonics in the Betics (A. Negro) and paleomagnetism (M. Osete).

The members of the Department of Geology (Geodynamics), University of Zaragoza, carry out investigations in the morphotectonic analysis of paleostress in the Iberian Chain (JL. Simón Gómez), structure, tectonics-sedimentation relationship, geotectonics, paleomagnetism and paleostress in the Iberian Chain and basin, and in the central-western Pyrenees (A. Casas Sainz).

Five significant contributions of the Principal Investigator head of the UCM group, Dr. Gerardo de Vicente Muñoz, *Profesor Titular* of Geodynamic in the Complutense University of Madrid are:

- G. de Vicente, J. Giner, A. Muñoz-Martín, J.M. González-Casado y R. Lindo. Determination of present-day stress tensor and neotectonic interval in the Spanish Central System and Madrid Basin, central Spain. *G. de Vicente, J. Giner, A. Muñoz-Martín, J.M. González-Casado y R. Lindo. Tectonophysics* (1996) 266, 405-424. 25 citations in ISI journals.
- B. Andeweg, G. de Vicente, S. Cloetingh, J. Giner y A. Muñoz-Martín. Local stress fields and intraplate deformation of Iberia: variations in spatial and temporal interplay of regional stress sources. *Tectonophysics* (1999) 305, 153-164. 13 citations in ISI journals.
- M. Herraiz, G. de Vicente, R. Lindo, J. Giner, J.L. Simón, J.M. González-Casado, O. Vadillo, M-A- Rodríguez-Pascua, J. Cicuéndez, A. Casas, L. Cabañas, P. Rincón, L. Cortés, M. Ramírez y M. Lucini. A new perspective about the recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics* (2000) 19 (4) 762-786 29 citations in ISI journals.
- S.Cloetingh, E. Burov, F. Beekman, B. Andeweg, P.A.M. Andriessen, D. García-Castellanos, G. de Vicente y R. Vegas. Lithospheric folding in Iberia. *Tectonics* (2002). 21,5,1041. 26 pp. doi:10.1029/2001TC901031,2002. 6 citations in ISI journals.
- M.A. Rodríguez-Pascua, J.P. Calvo, G. de Vicente, y G. Gómez-Gras. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology* (2000) 135,1-4, 117-135. 18 citations in ISI journals.

6. Autonomous University of Barcelona (UAB) Geodynamics of the North Africa Atlas group

This group is made out of researchers from the Geology Department of the UAB, with the collaboration with two members that belong to the Geology Department of the University of Salamanca. Both institutions currently cooperate in a number of different projects.

After years of experience in tectonics and geophysics in areas such as the Iberian Massif, Pyrenees, Betics, and the Urals, the group has progressively increased, since 1997, their research on the geodynamics of the Atlas Ranges in Morocco. Since then, in this area, the group has had 3 project funded by the national funding agency (Plan Nacional) two of them specifically focused in the Atlas, 4 AECI projects, 1 NATO project and 2 “*Acciones Complementarias*” of the Ministry of Education and Science (MEC). In the frame of this projects, the group members have used methodologies that have evolved accordingly to the progress in the research work. The activities and methodologies used include structural geology, tectonics/sedimentation, acquisition and modeling of potential fields, studies of fission tracks and U-Th/He, geomorphology and geochronology using cosmogenic nuclides. For their development we have collaborated with research teams from universities in Morocco, France, US, and Spain, including the ICTJA, also part of this proposal.

In the different study areas, the group members have published a number of scientific articles in national and international journals, such as the *Revista de la Sociedad Geológica de España*, *Estudios Geológicos*, *Boletín del IGME*, *Journal of Structural Geology*, *Tectonics*, *Tectonophysics*, *Journal of Geophysical Research*, *Geophysical Research Letters*, *Journal of the Geological Society of London*, *Geology*, *Geological Society of America Bulletin*, *Journal of Metamorphic Petrology*, *Geologische Rundschau*, *American Journal of Science*, *Terra Nova*, *Journal of African Earth Sciences*, *Geomorphology*, etc.

Presently, the research group plans to develop studies of geomorphology and surface processes in their investigations in North Africa (a proposal has been submitted to the current call for the Plan Nacional), and there is the opportunity to carry out a seismic experiment through the Atlas mountains. The group is also co-organizing an international meeting about the tectonics and vertical movements in the region, in the frame of the International Lithosphere Program, to be held in Morocco in 2007.

Five significant contributions of the Principal Investigator head of the UAB group, Dr. María Luisa Arboleya Cimadevilla, Professor of Geodynamics in the UAB, are:

- Julivert, M, Arboleya, ML. A geometrical and kinematical approach to the nappe structure in an arcuate fold belt - the Cantabrian nappes (Hercynian chain, NW Spain). *Journal of Structural Geology* 6: 499-&, 1984. *22 citations in ISI journals*.
- Julivert, M, Arboleya, ML. Areal balancing and estimate of areal reduction in a thin-skinned fold-and-thrust belt (Cantabrian Zone, NW Spain) - constraints on its emplacement mechanism. *Journal of Structural Geology* 8: 407-414, 1986. *21 citations in ISI journals*.
- Hirt, Am, Lowrie, W, Julivert, M, Arboleya, ML. Paleomagnetic results in support of a model for the origin of the Asturian Arc. *Tectonophysics* 21: 321-339,1992. *21 citations in ISI journals*
- Martinez, FJ, Julivert, M, Sebastian, A., Arboleya,M.L, Gil Ibarguchi,J.I. Structural and thermal evolution of high-grade areas in the northwestern parts of the Iberian Massif. *American Journal of Science* 288: 969-996, 1998. *16 citations in ISI journals*.
- Arboleya, ML, Engelder, T. Concentrated slip zones with subsidiary shears - their development on three scales in the Cerro-Brass fault zone, Appalachian Valley and Ridge. *Journal of Structural Geology* 17: 519-, 1995. *12 citations in ISI journals*.

7. Geological and Mining Institute of Spain (IGME) Geology and Geophysics group

The IGME team of researchers included in this proposal is organized in four thematic groups, according with their methodological experience and development of relevant research projects: structural geology and tectonics, geomorphology, geophysics and marine geology. It is worth mentioning that each of this groups will have the collaboration of other members of the Institute that are not specifically listed as participants..

The members of the IGME group have worked on Spanish projects of international relevance, such as ESCI and IBERSEIS, and also in the Andes, Antarctic Peninsula, Caribbean and Rif, (projects with international funding from the World Bank, European Union (Program SYSMIN), AECI, Plan Nacional de I+D). They have also participated in relevant projects in marine geophysics, such as those related with the Economic Exclusive Zone, VERTIMAR, an European projects EUROCORE-EUROMARGINS.

The efforts of the structural geology and tectonics group (R. Rodríguez-Fernández, N. Heredia, C. Marín y J. Escuder) will focus in the acquisition and processing of structural geology and active tectonics, tecto-sedimentary analysis, and modeling of the tectonic uplift and relief evolution, in the western end of the Cantabrian-Pyrenees ranges and their foreland basins, and also in the central sector of the Iberian Massif and Betics-Rif..

In the field of geomorphology (A. Martín-Serrano) we will carry out studies related with the analysis of the river network: anomalies in their track and causes, slope distribution, quantification of the incision values, dating of the associated sediments, evolution models, and also modeling of the tectonic uplift and quantitative estimation of relief evolution using DTMs and GIS.

The activities of the geophysics group (J.L. García Lobón, C. Rey, C. Ayala) will focus in the data acquisition and processing, 2D and 3D modeling of potential fields (gravity and magnetism) and in the analysis of the geoid and local isostasy. The results of 2D modeling will be used as starting models for the 3D modeling of gravity and geoid and for the 3D isostatic computations.

The marine geology group (L. Somoza, A. Maestro) will carry out its activities in the Iberian Atlantic margin, including the Gulf of Cadis, Galician margin and Cantabric zone. They will develop models of the structure and tecto-sedimentary evolution from marine geophysical data and their correlation in emerged areas, and they will build a database of marine geophysical data (multibeam, MCS seismics, high-resolution seismics, magnetism, gravity, and side-scan sonar) of the study areas.

Five significant contributions of the Principal Investigator head of the IGME group, Dr. Luis Roberto Rodríguez Fernández, Investigador Titular and Vice-Director of the Instituto Geológico y Minero de España, are:

- Escuder Viruete J., Hernaiz Huerta P.P, Valverde Vaquero P., **Rodríguez Fernández L.R.** and Dunning G.(1998).- Variscan Syncollisional extension in the Iberian Massif: structural, metamorphic and geochronological evidences from the Somosierra sector of the “Sierra de Guadarrama” (Central Iberian Zone, Spain). *Tectonophysics*. Holanda. 290 (1998) 87-109. **13 citations in ISI journals.**
- C.Marín, J. Galindo-Zaldívar and **L.R. Rodríguez-Fernández** (2003).- Joints, faults and paleostress evolution in the Campo de Dalías (Betic Cordilleras, SE Spain). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences- Geosciences* 335, 255-264. **1 citation in ISI journals.**
- Marín, C; Galindo-Zaldívar, J; **Rodríguez-Fernández, L.R.**, and Gonzalez-Lodeiro, F. (2004). Faulted hybrid joints: an example from the Campo de Dalías (Betic Cordilleras, Spain). *Journal of Structural Geology* 26 (2004) 2025–2037. **1 citation in ISI journals.**
- Marín-Lechado, C; Galindo-Zaldívar, J; **Rodríguez-Fernández, .L.R.**, Serrano, and Pedrera, A. (2004). Active faults, seismicity and stress in an internal boundary of a tectonic arc (Campo de

Dalías and Níjar, southeastern Betic Cordilleras, Spain).). *Tectonophysics*. 07314. **1 citation in ISI journals.**

- Heredia, N.; **Rodríguez Fernández, L.R.**; Gallastegui, G.; Busquets, P. and Colombo, F.;. (2002).- Geological setting of the Argentine Frontal Cordillera in the flat-slab segment (30°00' y 31°30' S latitude). In. Flat-Slab subduction in the Andes (V. Ramos & B Mc Nulty Eds.). *Jour. South Am. Earth Sci., Especial Issue*, 15, 79-99. **2 citations in ISI journals.**

8. Royal Institute and Observatory of the Navy (ROA) Geophysics group

ROA is an institution that belongs to the Spanish Navy that is located in San Fernando (Cadix). With a history of 250 years, currently focuses on studies of astronomy, geophysics, geodesy, and time. Since 1856 the Navy's *Escuela de Estudios Superiores* is located in ROA, with an academic activity oriented mainly to post-graduate studies for Navy officers and college students.

In the field of Earth Sciences, the ROA is engaged in the following activities:

1) Seismology: The seismology service operates a 10-station short-period network (one- and three-component) deployed in the vicinity of the Strait of Gibraltar, a three-component long period station, and a 8-station broadband seismic network deployed in southern Spain and northern Africa, co-located with permanent GPS stations. The main research lines are focused on seismicity, earthquake source, reflection and wide-angle seismics, both marine and land based, seismological instrumentation and design.

2) Geomagnetism: The geomagnetism service maintains two permanent geomagnetic observatories, that perform absolute and relative measurements. It also participates in geophysical surveys. Its main research activities are structure, geodynamics and tectonics using potential fields, using "Geosoft" as software tool.

3) Meteorology: ROA operates two permanent meteorological stations used to correct astronomic and geodetic observations.

4) Geodesy: The satellite service has a broad experience in satellite tracking using laser technology, which started with the installation of a Baker-Nunn camera in the late 1950s. Presently ROA operates a permanent satellite tracking station with laser technology (SLR), which is unmatched in the Iberian Peninsula-North of Africa region.

The geodesy service has also broad experience in the geodynamic applications of GPS. A permanent GPS station, co-located with the SRL station and associated to the IGS and ITRF has been installed and in operation since the end of 1995. With the purpose of studying the deformation in the southern Iberian Peninsula-North of Africa region, since 1994 ROA deployed a temporary GPS network, that has been measured periodically. Finally, ROA initiated the deployment of a permanent GPS network that currently consists of 10 stations, some of them co-located with the permanent broadband seismic stations. For the GPS data processing ROA uses the GIPSY-OASIS II software (JPL).

Five significant contributions of the Principal Investigator head of the ROA group, Dr. José Martín Dávila, Navy Frigate Captain and head of the ROA Geophysics Section, are:

- M. Catalán, J. Martín Davila and ZEEE Working Group (2005). "A magnetic anomaly picture offshore Canary archipelago". *Marine Geophysical Researches*. Vol 24 (1-2), 129 - 148
- A. Muñoz, M. Catalán, J. Martín Davila, A. Carbó (2005). Upper Crustal structure of Deception Island area (Brandsfield Strait, Antarctica) from gravimetric and magnetic modeling. *Antarctic Science*. Vol. 17 (2), 213- 224
- A. Pazos, G. Alguacil and J. Martín Davila (2005). A simple method to extend the bandwidth of electromagnetic sensors. *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*. Vol. 95, 1940 -1947.
- J.J. Martínez Benjamín, J. Martín Davila, J. Garate, P. Bonnefond, A.M. Barón Isanta, et al. (2004). Ibiza Absolute calibration Experiment: Survey and Preliminary results. *Marine Geodesy*. Vol. 27, 657- 681.

- E. Buforn, J. Martín Davila y Udías, A. (Eds.) (2004). PAGEOPH Topical Volumes: “Geodynamics of Azores-Tunisia”. Birkhäuser Verlag. Berlín. 473- 772.

9. University of Jaén (UJ) Microgeodesy group

The UJ microgeodesy group has, as priority research lines, the study of ground deformation in tectonically active regions using high precision geodetic methods (GPS, leveling, etc.). The region where the group has carried out most of its activities is the Betic Cordillera, particularly the central and eastern sectors, where it has deployed temporary regional GPS networks in the Granada and lower Segura basins, and also carried out leveling profiles in the city of Granada, and also a 30-km profile between La Marina and Torrevieja (Alicante). The group is currently installing these kind of networks to other regions of interest, such as the Zafarraya fault, Sierra Tejeda fold, and also to the Balanegra fault and to the Sierra de Gádor. The main research projects in which these activities are included are: “Control of local and regions deformation using high-resolution geodetic techniques to tectonically active regions. Application to the central sector of the Betic Cordillera”, DGESIC PB97-1267-C03-03, “Control of vertical deformations in the Torrevieja area by comparison of high precision leveling measurements”, Acción Especial BTE2000-3337-E and “Present-day tectonic activity in the Balanegra fault and its relationship with major folds”, Acción complementaria CGL2004-0167-E.

The UJ group is also member of the GEOLocalNET consortium, which since January 2006 participates in the European program GALILEO. This program in a joint initiative between the European Commission (EC) and the European Space Agency (ESA) in order to establish for Europe their own global satellite navigation system for civilian use. GEOLocalNET is a consortium coordinated by the Italian company Galileian Plus S.r.l. and established by the University of Jaén (Spain), University of Milano (Italy), and University of Ljubljana (Slovenia) and by the companies Space Engineering S.p.A. (Italy) y Harpha Sea, d.o.o. (Slovenia), with the purpose of carrying out the research project “Innovative Concepts for High Accuracy Local Geodetic Networks”, (Research And Development Activities, 6th Framework Programme, Call Number 2423, Area 3 – Innovation and International Initiatives. Innovation by Small and Medium Enterprises). This project has the goal of developing software for the data processing from the GALILEO system. We plan to develop algorithms, models and procedures to improve the accuracy, and to promote the use of local geodetic networks to control ground deformation.

The research areas of the group members Antonio J. Gil, Clara de Lacy and Antonio M. Ruiz are geodesy, GPS and GALILEO; and petrology, geochemistry and isotopic geology for Vicente López Sánchez-Vizcaíno.

Five significant contributions of the Principal Investigator head of the UJ group, Dr. Antonio José Gil Cruz, Professor of the UJ *Escuela Politécnica Superior*, are:

- Lacy, M.C., Sansò, F., Gil, A.J., Rodríguez-Caderot, G. (2005). A method for the ionospheric delay estimation and interpolation in a local GPS network. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 49 (1), 63-84.
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A.J., Borque, M.J., González-Lodeiro, F., Jabaloy, A., Marín-Lechado, C., Ruano, P., Sanz de Galdeano, C. (2003). Active faulting in the internal zones of the central Betic Cordilleras (SE, Spain). *Journal of Geodynamics*, 36 (1-2), 239-250. **11 citations in ISI journals.**
- Ruiz, A.M., Ferhat, G., Alfaro, P., Sanz de Galdeano, C., de Lacy, M.C., Rodríguez-Caderot, G., Gil, A.J. (2003). Geodetic measurements of crustal deformation on NW-SE faults of the Betic Cordillera, southern Spain, 1999-2001. *Journal of Geodynamics*, 35 (3), Pages 259-272. **5 citations in ISI journals.**
- Gil, A.J., Rodríguez-Caderot, G., Lacy, M.C., Ruiz, A.M., Sanz de Galdeano, C., Alfaro, P. (2002). Establishment of a non-permanent GPS network to monitor the recent NE-SW deformation in the

Granada Basin (Betic Cordillera, Southern Spain). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 46 (3), 395-410. **2 citations in ISI journals.**

- Lacy, M.C., Rodriguez-Caderot, G., Marín, E., Ruiz, A., Borque, M.J., Gil, A.J., Biagi, L. (2001). A gravimetric geoid computation and comparison with GPS results in Northern Andalusia (Spain). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 45 (1), 55-66. **1 citation in ISI journals.**

10. University of Cadiz (UC) Geochronology Group

This group is formed by researchers with expertise in geochronology (L. Barbero) and tectonics (J. Vázquez). Dr. Luis Barbero begun his research career studying granitoid genesis processes in middle crust settings, in the axial zone of the Iberian Hercynian orogeny. In the Scottish Universities Research and Reactor Center (East Kilbride, Reino Unido) he worked in problems of isotopic non-equilibrium during melting in granulitic conditions. In the University of Glasgow he studied problems of diachronism in metamorphic events using high-precision Sm-Nd geochronology. He has a broad experience in geochronology with Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb y K-Ar systems. Since 1995, in the University of Cadiz he has started to investigate in the field of low-temperature isotopic geology, learning during a stay in the University College of London thermochronology methods using fission tracks. Later, with funding from an EU project he establish the first fission track laboratory in Spain, and since then has worked in two main research areas: a) exhumation of orogens, having worked in the central part of the Iberian Hercynian, Patagonian Andes and in the Moroccan High Atlas, and b) studies of thermal evolution of sedimentary basins, in the external zones of the Betic cordillera, and in the Cameros basin in the Iberian range. From the methodological viewpoint he has collaborated in the development of a new dating technique in cooperation with the Nuclear Physics Max Plank Institute. He has been a member of a total of 11 national and international projects, being the principal investigator in 3 of them.

Dr. J. Tomás Vázquez works mainly in the structural and stratigraphic analysis of the subsurface by means of seismic reflection profiles. His main research interests are neotectonics and Cenozoic tectonics, and also the analysis of sedimentary basins and the evolution of continental margins. He has a broad experience in the acquisition, processing and interpretation of reflection seismic profiles. He conducted his doctoral thesis on the structure of the Alboran Sea basin, and it is worth mentioning his work on the Gulf of Cadis and the Pacific margin of the Antarctic Peninsula, and the limit between the Scotia and Weddell seas. He started his research activity studying the Mediterranean continental margin, and currently he has started to work in the Cantabric and Galician margins. He has been member of 18 national projects, 5 of them carried out under the National Antarctic Program, studying the formation processes of oceanic basins, continental break-up and development of high-latitude margins (ANTPAC, SCOT, SCAN) and 3 related to the tectonic and sedimentary evolution of the Gulf of Cadis (FADO, TASYO; GADES), and also in the ESF EUROMARGINS program, devoted to the study of the relationship between tectonic activity and presence of gas hydrates in the Gulf of Cadis.

Five significant contributions of the Principal Investigator head of the UC group, Dr. Luis Barbero González, Profesor Titular de Petrología y Geoquímica de la Universidad de Cádiz, son:

- Barbero, L., And Villaseca, C (1992). The Layos Granite, Hercynian Complex Of Toledo (Spain) - An Example Of Parautochthonous Restite-Rich Granite In A Granulitic Area. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 83, 127-138. 21 citations in ISI journals.
- Barbero, L., Villaseca, C., Rogers, G., And Brown, P.E. (1995). Geochemical And Isotopic Disequilibrium In Crustal Melting - An Insight From The Anatectic Granitoids From Toledo, Spain. *J. Geophys. Res.*, 100, 15745-15765. 47 citations in ISI journals.
- Barbero, L. (1995). Granulite-Facies Metamorphism In The Anatectic Complex Of Toledo, Spain - Late-Hercynian Tectonic Evolution By Crustal Extension. *J. Geol. Soc. London*, 152, 365-382. 10 citations in ISI journals.

- Villaseca, C., Barbero, L., And Rogers, G. (1998). Crustal Origin Of Hercynian Peraluminous Granitic Batholiths Of Central Spain: Petrological, Geochemical And Isotopic (Sr, Nd) Constraints. *Lithos*, 43, 55-79. 29 citations in ISI journals.
- Villaseca, C., Downes, H., Pin, C., And Barbero, L. (1999). Nature And Composition Of The Lower Continental Crust In Central Spain And The Granulite-Granite Linkage: Inferences From Granulitic Xenoliths. *J. Petrol.*, 40, 1465-1496. 14 citations in ISI journals.

Relevant International Research Projects developed by members of the Topo-Iberia Team.

Project Title	Principal Investigator	Accorded Funds	Funding Agency. Project Reference	Operational Period
		EURO		
Structure of the crust under the volcanic zone of Olot and lateral variations from seismic refraction techniques.	J. Gallart	9.044.000 Pts	Commission of the European Communities - JOULE Programme (EN3G-0074-EB)	1986 - 1989
Climatología y riesgos naturales. Climatic changes in the NE Iberian Peninsula from 127.000 y BP to Holocene	R. Julia	54.842 €	CEEU - Comunidad Económica Europea	1987-1989
Paleozoic geodynamic domains and their alpidic evolution in the Tethys.	D. Papanicolau, F.P. Sassi y A. Sinha		IGCP Project nº276. UNESCO	1987-1992
ILIHA: Iberian Lithosphere Heterogeneity and Anisotropy.	A. López Arroyo/J.Gallart	Total:1.202.000 ECU;	Commission of the European Communities - SCIENCE Programme (ST2P-0389-C-A)	1988-1991
Variscan Iberian Belt 43 N transect	A.Pérez Estaún		Global Geosciences Transect Projects	1989-1992
Comparative Studies of Intraplate Mountain Belts in Iberia and the Rocky and Ancestral Rocky Mountains of North America	A. Pérez Estaún		NATO	1989-1992
STREAMERS: Structural Transects of the Rim of Europe to Africa by Marine Exploration Reflection Seismics.	A. Hirn	1.000.000 ECU	Commission of European Communities - JOULE Programme	1990-1993
Paleocene/Eocene Boundary Events	E. Molina		IUGS/UNESCO.	1990-1993
Seismic Risk in Mexico City associated to the crustal structure in seismic active zones by means of deep seismic sounding (RISICO)	D. Córdoba		Commission of the European Communities CII*0635M./JR	1991-1993
Temporal occurrence and forecasting of landsliding in E.C.	J. Coromines	24.040 €	CEEU - Comunidad Económica Europea PL89-0146	1991-1993
Europeprobe, The tectonic evolution of Europe from the Ural Mountains to the Atlantic Ocean	Dr. Gee		European Science Foundation	1991-1996
Origin and evolution of desertification in the mediterranean environment in Spain	R. Julia	48.080 €	UNER - Unión Europea EV5V-CT91-0037	1992-1994
Geophysical study of intraplate volcanism: Canary and Society Archipelagos.	J.J. Dañobeitia	130.000 ECU	Commission of European Communities - Twinning Programme	1992-1994

On the best estimate of the geoid and of the sea topography in the Mediterranean Sea	M.J. Sevilla	170.000 ECUS	Plan Science CEE – Contrato SCI-CT92-0808	1992-1994
Iberian Atlantic Margins IAM	E. Banda	1.300.000 ECU	Commission of the European Communities-JOULE Programme	1992-1994
Integrated Basin Studies. IBS Project	Sierd Cloetingh et al.	Total: 360.450.000 ptas UB: 23.229.000 ptas	Comunidad Europea . Joule II Programme (JOU2-CT92-110).	1993-1995
Formation modelling of the Guadalquivir Foreland Basin: Integrated Basin Studies	M. Fernández		Unión Europea (JOU2-CT92-110)	1993-1995
FOURNASEIS: Fournaise operation of undershooting, refraction and normal angle seismic sounding. Seismic tomography of Piton de la Fournaise volcano.	J. Gallart	Barcelona: 316.250 ECU. Total: 814.000 ECU	Commission of the European Communities - Environment Programme (EV5VCT92-0188)	1993-1996
ETNASEIS: Etna tomography. Novel approach by seismology. Etna volcano behavioural model.	J. Gallart	213.000 ECU	Commission of the European Communities - Environment Programme (EV5VCT92-0187)	1993-1996
European Laboratory Volcanoes: Teide. Definition of the fine structures and the plumbing system aimed at eruption prediction, hazard assesment and eruptive mechanism understanding	J. Martí		Programa EVOP, C.E.E	1993-1996
Contribution à l'étude de la dynamique des avalanches dans un but de cartographie du risque. Formation à la modelisation dans le domaine des phenomenes naturels	J.L. Vilaplana, G. Brugnot	76.629 €	CEEU - Comunidad Económica Europea CHRX-CT93-0307	1993-1996
Evolution and Correlation of Epicratonic Peritethyan Basins. Proyecto 343	J. Dercourt		Network CEE. Euro-Tethys Conference	1993-2000
Atlas of Geothermal Resources in Europe. Spain	M. Fernández		Unión Europea (JOU2-CT93-0298)	1994-1997
Comparative geophysical transects across Costa Rica	J.J. Dañobeitia	55.000 ECU	Commission of European Communities - ALAMED Programme	1994-1997
Palaeomagnetic constrains and structural block rotations in orogenic zones from Mexico and Spain	M.L. Osete, R. Vegas, J.M. Parés, J. Urrutia, D. Tarling	30.000 €	Proyecto Comunidades Europeas, CI I-CT94-0114	1994-1998

The uralide orogen- a key to understanding collisional orogenesis	A.Pérez Estaún	90.000 €	INTAS INTAS-94-1857	1995-1996
Geodynamic Modelling of the Western Mediterranean	M. Fernández	84.017 € (global 370.000 €)	Unión Europea (CHRX-CT94-0607)	1995-1998
ODP Leg 161 - Med II, Mar de Alborán,	(Co-chief scientist). M.C. Comas		ODP /JOIDES / NSF (EEUU)	1995 - 1999
Snow avalanche mapping and warning in Europe	J.L. Vilaplana	55.076 €	UNER - Unión Europea ENV4-CT96-0258	1996-1998
Sea Level Fluctuations in the Mediterranean: Interactions with climate processes and vertical crustal movements (SELF II).	S. Zerbini Coor. España: L. Tejedor		Unión Europea (ENV4-CT95-0087).	1996-1998
Investigation and modelling of the physical characteristics and properties of snow at the surface of polar ice sheets	J. Calvet	54.091 €	UNER - Unión Europea PL95-1444	1996-1999
FEBEX: Full scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock	Fco. Javier Elorza		Union Europea y ENRESA. Contract nº FI4W-CT95-0006	1996-1999
URO, TMR Network	A. Pérez Estaún		Commission of the European Communities ERBMRXCT 960009	1996-2000
Plan de asistencia al sector minero de la República Argentina (PASMA): Subcomponente C.1. Programa C.1.a (Cartografía Geológica y Temática)	V. Gabaldón / L. R. Rodríguez	1.120.000 US dólares	BIRD Banco Mundial Préstamo L-3927-AR	1996-2001
CHESS: Climate, Hydrochemistry and Economics of Surface Waters Systems.	Fco. Javier Elorza		Union Europea. Contract nº ENV4-CT97-0440	1997-2000
Development of a methodology for detecting deep metal ore deposits through physic-chemical analysis of fluids in shallow boreholes	H. Pauwels		Unión Europea (Actual cost contract nº BRPR-CT97-0374)	1997-2000
CLIPLEX: Clay Instrumentation Programme for the Extension of an Underground Research Laboratory.	Fco. Javier Elorza		Union Europea y ENRESA. Contract nº FI4W-CT96-0028	1997-2001
Big sources of earthquake and tsunamis in SW Iberia	J.J. Dañobeitia	91.000 €	UE ENV4-CT97-0547	1998-2000
Caracterización del potencial sísmico de la falla de Carboneras (Almería) mediante trincheras	P. Santanach	78.131 €	CERG - Commission of the european communities ENV4-CT97-0578	1998-2000
Meteorological applications of GPS: Integrated column water vapor measurements in the western Mediterranean (MAGIC)	Coord: J. Hasse (ACRI) IP ROA: J. Martín Dávila	100.000 €	UE – ENV4 – CT98-0745	1998-2000

FAUST: Faults as a seismologist's tool	UB:P. Santanach	78.132 €	UE	1998-2001
Thermal evolution of the Norwegian margin	M. Torné	234.431 €	NORSK-HYDRO	2000-2001
Upgrading of San Fernando Laser Tracking Station	Contratante: R. Boloix IP ROA : J. Martin Dávila		Agencia Espacial Europea Contract 13833/99/NL/SF	2000-2001
Human interaction with large scale coastal morphological evolution (HUMOR)	Dr. Losada		European Comission (UE), N°.: EVK3-2000-22014	2000-2003
FEBEX II: Full scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock	Fco. Javier Elorza		Unión Europea y ENRESA. Contract nº FIKW-CT-2000- 00016	2000-2004
Study of the variscan evolution in SW Iberian Peninsula	J. Pous	60.104	UNER - Unión Europea HPMF-CT-2001-01358	2001-2002
Study of the variscan evolution in SW Iberian Peninsula	J. Pous	60.104 €	UE HPMF-CT-2001-01358	2001-2002
Joint European Ocean Drilling Initiative (JEODI)	Dr. J. Ludden .,I IP en España: M.C: Comas		European Comission (UE), N°: EVR1-CT-2001-20003	2001-2003
SAFE: Slow active faults in Europe	UB: P. Santanach	87 646 € 30 000 €	UE	2001-2004
How folding is accommodated at minor scale? Comparison between three types of folds	J. Vergés	112.000 €	Unión Europea (Programa Marie Curie)	2002-2003
The Iberian-African plate boundary: lithospheric structure and geodynamic evolution	M. Fernández	22.700 €	NATO (EST.CLG.978922)	2002-2004
BMW Benchmark Models for the Water framework directive	Fco. Javier Elorza		Unión Europea. Contract nº EVK1-CT-2001-00093	2002-2004
Avalanche studies and model validation in Europe(SATSIE)	E. Suriñach	109.999 €	UNER - Unión Europea EVG1-CT-2002-00059	2002 -2005
European Sea-level Service: Research and infrastructure	Coord: H.P. Plag IP Contratante ROA : J. Martin Dávila	ROA: 60.000 €	UE EVR1-CT-2002-40025	2002-2005
Ocean Drilling Program, ODP Leg 204	G. Bohrmann & A. M. Tréhu		National Science Foundation (Estados Unidos), y otros	2002-2005
EUROCORES- EUROMARGIN. "Imaging the Western Mediterranean Margins: A key target to understand the interaction between deep and shallow processes	M. Fernández		ESF: 01-LEC-EMA22F	2003 - 2005

Record of deformation and uplift of the Atlas mountains (Morocco): an integrated approach.	A. Teixell	17.000 €	NATO	2003-2005
ASSEMBLAGE, Assessment of the Black Sea sedimentary system since the last glacial extreme,	G. Lericolais		Unión Europea EVK3-CT-2002-0090	2003-2006
EuroMargins WESTMED: Estructura cortical y litosférica, movimientos verticales y dinámica sedimentaria en el margen septentrional del Mediterráneo Occidental	M. Fernández	17.505 €	ESF - EUROCORES EuroMargins- Plan Nacional I+D+I, MICYT (REN 2003-05996)	2003-2006
PROMESS 1, PROfiles across MEditerranean Sedimentary Systems. Part 1	S. Berne		Unión Europea EVR1-CT-2002-40024	2003-2006
Forcing of carbonate mounds and deep water coral reefs along the nw european continental margins (MOUNDFORCE)	L. Somoza	70.000 €	ESF EUROCORE- EUROMARGINS 01-LEC-EMA06F	2003-2007
Tectonic control, deep structure and fluid escape pathways in the gulf of Cádiz mud volcano field (MVSEIS).	L. Somoza	50.000 €	ESF EUROCORE- EUROMARGINS 01-LEC-EMA24F	2003-2007
Estructura geológica del borde meridional de la cordillera del Atlas (Marruecos): implicaciones sobre la actividad tectónica reciente y la sismicidad	A. Teixell	15.635 €	Proy Interuniv. Hispano- Marroquí. AECI (Ministerio de Asuntos Exteriores)	2004-2006
THALES WAS RIGHT. Transients in the Hellenic and Antilles Locci of Earthquakes of European Subductions: Water Activity, Structure and Seismic Risk Illuminated by Geophysical High-Technology	A. Hirn/J.Gallart	1.748.000 €	UE- FP6-2004-NEST-C-1 (FP6- 029080-2)	2005-2007
Fundamental Processes of Radionucleide Migration (FUNMIG)	R. Carbonell	• 150.000 €	• European FP6 F16W 516514	2005-2008
Carbonate Reservoir Geomodels	J.C. Braga	•	• RF-Rogaland Research- Norwegian Science Foundation	2005-2008
NEAREST. Integrated observations from near shore sources of Tsunamis: Towards and Early Warning System	N. Zitellini	• 2.850.000 €	• European Union, STREPS – Global Change and Ecosystems Programme. (FP6- 037110)	2006-2008
Geophysical Oceanography – a new tool to understand the thermal structure and dynamics of oceans (GO)	R. Carbonell	• 130.000 €	• European FP6 2003 NEST B 3 015603-2	2006-2010

4. ESQUEMA DE UN PLAN DE EVALUACIÓN ESPECÍFICO AL PROGRAMA DE ACTIVIDAD Y AL PROYECTO.

El objetivo general del programa de investigación es promover y potenciar una investigación de alta calidad e innovadora, con impacto en las publicaciones científicas de más alto nivel, que refuerce el papel de las Geociencias españolas en el contexto internacional y, en especial, su inserción en el espacio europeo de investigación.

Para la evaluación de los resultados esperables del programa de investigación a través de hitos específicos o resultados constatables y valorables, los objetivos del equipo se pueden dividir en dos grandes ámbitos: a) **objetivos estratégicos**, que responden directamente a las orientaciones del Plan Nacional de I+D y a los criterios expresados en la Resolución de Convocatoria del Programa Consolider-Ingenio 2010; y, b) **objetivos científicos mayores**, que se exponen en la memoria como hitos o resultados específicos esperables (apartado 2.7). Aquí se recogen los principales hitos y resultados tangibles que pueden utilizarse para un seguimiento de la marcha y resultados del programa de investigación, evitando un excesivo detalle para facilitar la valoración y estimación de los resultados alcanzados.

A) OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

- 1) **Mantener y aumentar el nivel de excelencia de la producción científica** del equipo y su productividad. *Indicadores: 50 artículos por año en revistas indexadas y o capítulos de libros; más de una centenar de otro tipo de publicaciones y documentos técnicos; al menos 200 presentaciones a congresos por año, de las cuales, un mínimo del 70 % lo será en foros internacionales.*
- 2) **Formar jóvenes investigadores** a un ritmo sostenible en relación con los mejores centros internacionales de las especialidades de Geociencias integradas en el Equipo. Coordinación y participación en doctorados y master de calidad. Incrementar la dimensión de los grupos investigadores atrayendo y promoviendo la **inserción de jóvenes investigadores** con talento. *Indicadores: desarrollo de, al menos, 3 programas de doctorado de calidad (y/o Master); mantener sostenidamente un mínimo de 30 becarios y/ contratados pre-doctorales en fase de realización de Tesis Doctoral; incorporación de un mínimo de 12 becarios y/o contratados post-doctorales; defensa de un mínimo de 30 tesis doctorales durante todo el periodo.*
- 3) **Contribuir a la mejora de la infraestructura de investigación** facilitando el uso y optimizando los recursos dispersos existentes en los grupos y complementándolos con nuevas adquisiciones para constituir equipamientos de referencia a nivel europeo. *Indicadores: con la infraestructura existente reforzada con los fondos propios del programa y los obtenidos en otras convocatorias o ayudas públicas se tratará de conseguir el funcionamiento, al menos, de la siguientes infraestructuras: a) una nueva plataforma de observación estatal "IberArray" constituida por estaciones sísmicas, Estaciones GPS, etc. b) dos centros de procesado de datos sísmicos abiertos a toda la comunidad neocientífica española, c) un laboratorio geofísico de campo para estudios de alta resolución aplicable a estudios del subsuelo superficial. Incorporación de 3 técnicos por año para el mantenimiento y manejo de las infraestructuras científicas y las bases de datos.*
- 4) **Continuar y potenciar el esfuerzo de todos los grupos del equipo para participar y dirigir proyectos de investigación financiados en convocatorias públicas competitivas** europeas, estatales o autonómicas. *Indicadores: Mantenimiento de un mínimo de 15 proyectos financiados en convocatorias públicas de I+D*
- 5) **Intensificar la conexión con las empresas e instituciones** públicas en las especialidades propias del equipo mediante la realización de proyectos de investigación o a través de convenios o contratos para la realización de trabajos técnicos específicos. *Indicadores: Mantenimiento de un mínimo de 30 convenios o contratos de investigación o asesoramiento técnico con empresas e instituciones públicas*

- 6) **Promover la difusión del conocimiento** al conjunto de la sociedad mediante divulgación científica a través de conferencias, jornadas, productos bibliográficos o cartográficos, documentales, páginas web y presencia en los medios de comunicación.

B) OBJETIVOS CIENTÍFICOS MAYORES

- 1) **Creación y mantenimiento de una base integrada de datos geológico-geofísicos** que recoja toda la información disponible en una base de datos georeferenciada utilizando un GIS y accesible a través de web. Los pasos a seguir serán los siguientes.
 - a. A la puesta en marcha del programa se abordará la creación de una página web oficial en la que se ofrecerá al público toda la información del Equipo Consolider TopoIberia y que se utilizará como intranet para intercambio de información entre los diferentes grupos de investigación. Progresivamente se irán poniendo a disposición de toda la comunidad española de Geociencias los resultados que se vayan alcanzando.
 - b. Durante el primer año se definirá la estructura y se pondrá en marcha una base de datos georeferenciada en ArcGIS para recopilar toda la información geológico-geofísica disponible actualmente, sobre la que se irá almacenando los nuevos datos que se vayan adquiriendo. El acceso a la base de datos se realizará a través de la intranet utilizando las potencialidades del GIS.
 - c. Durante los cinco años del programa, esta base de datos GIS será un instrumento esencial para el intercambio de información y el análisis entre los grupos del equipo.
 - d. Al final del programa habrá que decidir la articulación institucional y el procedimiento a seguir para el mantenimiento futuro de la importante base de datos que se espera generar
- 2) **Despliegue IberArray**
 - a. Despliegue de las estaciones sísmicas en un número no inferior a 80 para que se pueda cubrir toda la península y el norte de África durante un periodo de 20 meses. Para ello se distribuirán las estaciones en tres zonas: a) centro-norte, b) centro-sur, y c) norte de África. El despliegue se realizará tan rápido como se disponga de todos los equipos y durará todo el tiempo de vigencia del programa.
 - b. A partir de los datos registrados en esta red y su integración con otros datos geofísicos (sísmica, métodos potenciales, etc) se espera conseguir los siguientes resultados:
 - i. Nuevos modelos de la estructura y propiedades del manto sublitosférico en Iberia basados en la integración de observables geofísicos, fundamentalmente de tomografía sísmica.
 - ii. Mapas de espesor litosférico, de rigidez y de ritmo de deformación en cada área temática.
 - iii. Mapa actualizado de profundidad del Moho y espesor cortical.
 - iv. Mapas de propiedades físicas en áreas clave de la Península Ibérica integrando información estructural y modelos 3-D de parámetros geofísicos (velocidades, densidad, resistividad eléctrica,...).
- 3) **Mediciones de deformación mediante GPS**
 - a. Despliegue de una red de 25 GPS en funcionamiento continuo cubriendo todo el territorio de estudio durante un periodo de 30 meses. En función del análisis de los datos obtenidos durante este periodo algunos instrumentos se desplazarán a las zonas de mayor interés para la segunda mitad del proyecto.
 - b. A partir de estos datos se espera conseguir los siguientes resultados:
 - i. Mapa de estado de vectores de deformación actual de la corteza ibérica
 - ii. Identificación de áreas que, por mostrar una acumulación de esfuerzos más alta, supongan una mayor peligrosidad sísmica.
- 4) **Daticiones**
 - a. Para cuantificar los procesos de levantamiento y erosión que ha dado lugar al actual relieve ibérico se realizará un campaña intensiva de dataciones, en los distintos

ámbitos regionales, usando las técnicas termocronológicas de huellas de fisión y U-Th/He. Para ello se seleccionarán aquellas zonas más representativas, con modelos estructurales y tectónicos evolutivos bien establecidos y con las rocas adecuadas para la interpretación de los correspondientes modelos termales. Los resultados que se espera alcanzar serían los siguientes:

- i. Edades y velocidades de levantamiento de los relieves peninsulares
 - ii. Integración de estos datos con modelos tectónicos para analizar las relaciones acreción tectónica/erosión.
 - iii. Cuantificación de velocidad de levantamiento en orógenos activos e identificación de sus mecanismos de control.
 - iv. Cuantificación de velocidad de levantamiento/subsidencia intraplaca inducidos por plegamientos litosféricos y otros procesos.
- b. Para la obtención de velocidades de denudación y levantamiento en las áreas emergidas se procederá a la datación de depósitos y superficies geomorfológicas de interés utilizando nucléidos cosmogénicos in situ (^{10}Be), series de desequilibrio de U/Th, luminiscencia y ^{14}C . Además se analizarán los isótopos estables de C y O para determinar condiciones paleoclimáticas. Los resultados específicos que se espera obtener son:
- i. Determinación de velocidades de formación del relieve cuaternario
 - ii. - Mapas neotectónicos regionales con inclusión de la velocidad de levantamiento, subsidencia y desplazamientos laterales.

5) *Estudios geológicos y geofísicos de alta resolución*

- a. Durante el programa se llevarán a cabo estudios geológicos y geofísicos detallados en zonas seleccionadas de los distintos ámbitos regionales con el fin de lograr una mejor caracterización geológico/geofísica de distintos sistemas orogénicos, estilos de deformación, balances, arquitectura interna y dinámica. Los resultados constatables que se espera conseguir serían los siguientes:
- i. Mapas tectónicos actualizados de todos los ámbitos regionales, estableciendo las características superficiales y profundas de las principales fallas activas
 - ii. Cortes geológicos corticales compensados a través de los distintos sistemas orogénicos.
 - iii. Mapas de indicadores cinemáticos en el que se señalen los patrones de reparto de la deformación y su evolución espacio temporal que permitan ensayar distintas modelizaciones (numérica y analógica)
 - iv. Modelización geológica 3D de las estructuras geológicas significativas, mediante integración de datos de superficie y subsuelo
 - v. Mapas de deformación cortical cuaternaria y tasas de deformación co-sísmica según catálogos históricos y paleosismicidad en áreas claramente activas como las de interacción entre la placa Ibérica y la Africana, o el cinturón del Mediterráneo oriental, en comparación con otras áreas europeas con sismicidad más moderada
 - vi. Mapas y DMT de la red fluvial ibérica la distribución de las incisiones fluviales y su relación con elementos morfoestructurales
 - vii. Mapas sismotectónicos con los parámetros de las fallas para la determinación de la peligrosidad sísmica asociada a estructuras tectónicamente activas y establecer la arquitectura superficial de las fallas activas.
 - viii. Mapas paleogeográficos relativos a la evolución del sistema de drenaje peninsular, de cuencas sedimentarias y topografía en los últimos 20 M años.
 - ix. Determinar tasas de levantamiento del relieve y cambios paleoclimáticos a partir de datos sedimentarios (paleontológicos, mineralógicos y geoquímicos)
 - x. Cuantificación de la importancia relativa de los factores climático-geomorfológicos y tectónicos para la formación del relieve, a partir de las tasas de incisión de la red de drenaje y de la actividad de los frentes montañosos.

6) *Modelización*

La modelización es la herramienta básica para integrar los resultados obtenidos en los objetivos descritos anteriormente bajo una formulación físico-matemática, y permitirá alcanzar dos objetivos científicos fundamentales: a) discernir y entender los mecanismos dominantes en la configuración y evolución de un sistema físico, y b) reproducir y, consiguientemente, predecir el funcionamiento del sistema tanto hacia el futuro como hacia el pasado. En este marco genérico de la modelización o simulación numérica y analógica se pretende:

- a. Caracterizar la estructura de la corteza y manto superior atendiendo a su geometría, densidad, posible composición mayoritaria, condiciones de presión y temperatura, estado de esfuerzos, y comportamiento reológico en las condiciones actuales.
- b. Determinar los mecanismos isostáticos, nivel de compensación, separación de la contribución térmica y composicional a la topografía dinámica atribuible a heterogeneidades en el manto superior, y comprender la ocurrencia de eventos sísmicos en la franja dúctil del manto litosférico.
- c. Discernir y delimitar los mecanismos actuantes en la Península Ibérica y sus márgenes. En particular, se pretende proponer mecanismos que expliquen la evolución del Arco de Gibraltar y regiones adyacentes, la deformación intraplaca de Iberia y sus distintas orientaciones, y la evolución del límite septentrional de la Península (margen Cantábrico, y colisión Pirenaica).
- d. Aplicar modelos integrados de evolución del relieve y tectónica para simular la evolución pasada y futura de las redes de drenaje, movimientos verticales y transporte de masa superficial asociados a escala regional y suprarregional.
- e. Desarrollar nuevas herramientas de modelización numérica y experimentación analógica que incorporen aspectos novedosos en el ámbito de la simulación. En este sentido cabe destacar la incorporación de variables petrofísicas y mineralógicas, cambios de fase, y discontinuidades mecánicas en los modelos de subducción, delaminación, y deformación litosférica en general.

4. EVALUATION SCHEMA, SPECIFIC FOR THE RESEARCH ACTIVITY PROGRAMME AND THE PROJECT.

The general goal of this research program is to promote and fuel high-quality and innovative research with impact on top-level scientific publications. This research aims to reinforce the role of Spanish Geoscience in the international context, and particularly its integration within the European scientific scenario.

To evaluate the outcomes of the research program through specific milestones or deliverables, the objectives of the program can be divided in two main fields: a) **strategic objectives**, related to the directions of the *Plan Nacional de I+D* and the criteria expressed in the *Resolución de Convocatoria del Programa Consolider-Ingenio 2010*; and b) **main scientific objectives**, as exposed in the proposal (specific milestones or deliverables, section 2.7). Here we specify the main milestones and results that can be used to track the progress and results of the research program. We intentionally avoid an excess of detail in order to facilitate the evaluation.

B) STRATEGIC GOALS

- 7) **Consolidating and increasing the excellence of the team's scientific production and its productivity.** *Indicators:* 50 articles per year in SCI and/or book chapters; more than 100 other publications and technical reports; at least 200 congress presentations per year, of which ~70% in international meetings.
- 8) **Training young researchers** with a reasonable timing and in contact with the best international centers of the Geoscience fields of the Team. Coordination and direction of top-quality PhD. and master students. Increase the size of the research groups by attracting and promoting the **incorporation of talented young researchers.** *Indicators:* development of at least 3 PhD. (and/or master) programs of top quality; consolidation of at least 30 granted and contracted PhD. students; incorporation of 12 granted or contracted post-doctoral researchers; at least 30 PhD. defenses during the whole period.
- 9) **Contributing to infrastructural improvement** by facilitating the use and optimization of resources existing in the participating groups and complementing them with new acquisitions to build European-scale reference equipments. *Indicators:* program-funded infrastructure, together with that obtained from other calls, the following infrastructures will be incorporated: a) a new nation-wide observation facility "IberArray" of seismic stations, GPS stations, etc. b) two seismic processing centers open to the whole geoscientific Spanish community, c) a geophysical field laboratory for high-resolution studies useful for shallow underground studies. Incorporation of 3 technicians per year for the maintenance and handling of these infrastructures and data bases.
- 10) **Pursuing, promoting and joining efforts of groups to submit, join, and lead projects in competitive calls** at European, national, and regional levels. *Indicators:* at least 15 projects funded in public R+D calls.
- 11) **Intensifying the cooperation with private companies and public institutions** of the Team's domain through the realization of research projects or through agreements or contracts for the realization of specific technical tasks. *Indicators:* At least 30 agreements or research/consulting contracts with companies and public institutions.
- 12) **Promoting knowledge diffusion** to the society through conferences, meetings, bibliographic and cartographic products, documentaries, web pages, and media presence.

B) MAJOR SCIENTIFIC GOALS

- 7) ***Creation and maintenance of an integrated geophysical and geological database*** compiling all available information in a georeferenced format (using GIS software) and accessible through the internet. This will be done in the following steps:
 - a. As the program starts, an official web page will be created that will host all information of the Consolider TopoIberia Team and that will be used as intranet to exchange information between different research groups. Progressively, the outcomes of the program will be offered to the entire Geoscientific community.
 - b. During the first year, the structure and set-up of the georeferenced database will be defined. ArcGIS will be adopted to compile all geological and geophysical information available at present, on which new data will be added as acquisition progresses. Access to the data base will be interactive through the intranet and with a GIS interface.
 - c. During the five years of the program, this GIS database will be an essential instrument to exchange information and analysis between the Team's groups.
 - d. At the end of the program a discussion on the institutional mechanisms and the procedures will be opened that will decide the future of the important database that will be produced.

- 8) ***IberArray deployment***
 - a. Deployment of at least 80 seismic stations to cover the entire Iberian Peninsula and North of Africa during 20 months. To this purpose, the stations will be deployed in three areas: a) central-north, b) central-south, c) North Africa. The deployment will be performed as soon as the equipment is available and will last for the whole program duration.
 - b. From the new data produced with such a network and its integration with available geophysical data (seismics, potential fields, etc.), the following results are expected:
 - i. New models of the structure and properties of the Iberian sublithospheric mantle based on the integration of geophysical observables, particularly tomography and seismics.
 - ii. Mapping of the lithospheric thickness, mapping of lithospheric rigidity, and mapping of the crustal/lithospheric strain rate at each area.
 - iii. Updated mapping of the Moho depth and crustal thickness.
 - iv. Mapping of the physical properties at key areas of the Iberian Peninsula integrating structural information with 3D models of geophysical parameters (wave velocity, density, electric resistivity, etc.).

- 9) ***GPS measurements of deformation***
 - a. Deployment of a 25-station continuous GPS network covering the whole study area during a 30-month period. Depending on the results of the data analysis, some instruments might be shifted to areas of greater interest for the second half of the project.
 - b. From these data, the following results are expected:
 - i. Map of the present deformation vectors of the Iberian crust.
 - ii. Identification of areas presenting a larger stress concentration and therefore a higher seismic hazard.

- 10) ***Dating***
 - a. In order to quantify the processes of uplift and erosion that modeled the present Iberian relief, an intensive campaign of dating will be undertaken in the study regions. The main techniques will be fission-track thermochronology, U-Th-He. To this purpose, best constrained areas (well-established structural and tectonic models) will be chosen so that the results can constrain the thermal models. The expected results are:
 - i. Ages and velocities of uplift of the Iberian relief.

- ii. Integration of these datings with tectonic models to analyze the relationships between tectonic accretion and erosion.
 - iii. Quantification of uplift rates in active orogens and identification of its control mechanisms.
 - iv. Quantification of uplift/subsidence rates at intraplate areas induced by lithospheric folding and other processes.
- b. To obtain denudation and uplift rates of onshore areas, sediment and geomorphological surfaces will be dated using cosmogenic nuclide techniques (^{10}Be), U/Th, luminescence and ^{14}C . Stable isotopes of C and O will be used to estimate paleoclimatic parameters. The expected specific results are:
- i. Rate of formation of the Quaternary relief.
 - ii. Neotectonic regional maps including uplift rates, subsidence and lateral movements.

11) High-resolution geological and geophysical studies

- a. During the program, detailed geological and geophysical studies will be undertaken in selected areas of the study regions with the aim of characterizing the styles of deformation, balanced cross sections, internal architecture, and dynamics of different orogenic systems. The expected specific results are:
- i. Updated tectonic maps of all studied regions, establishing the shallow and deep characteristics of the main active faults.
 - ii. Balanced geological sections of the crust across the studied orogens.
 - iii. Maps of cinematic indicators in which strain distribution patterns and its evolution are specified, allowing to test computer and analogue models.
 - iv. 3D modelling of the main geological structures by integrating surface and subsurface data.
 - v. Maps of quaternary crustal deformation and co-seismic deformation rates according to historical catalogue data and paleoseismicity in clearly active areas such as in the interaction between Iberia and Africa or the Eastern Mediterranean, relative to other European areas of lesser seismic activity.
 - vi. Maps and DEM of the Iberian fluvial network, the distribution of fluvial incision and its relationship with morphostructural elements.
 - vii. Seismotectonic maps incorporating fault parameters to constrain the seismic hazard associated to tectonically active structures and establish the surface architecture of active faults.
 - viii. Paleogeographic maps of the evolution of the drainage network of the Iberian Peninsula, its sedimentary basins and topography in the last 20 Myr.
 - ix. Determining surface uplift rates and paleoclimatic changes from sedimentary data (palaeontological, mineralogical y geochemical)
 - x. Quantification of the relative importance of the climatic and geomorphological factors vs. the tectonic processes in shaping landscape, based on the collected multidisciplinary data and the modelling.

12) Modelling

Process modeling is a key tool to integrate the data acquisition results with a physic-mathematical representation of the processes shaping the Earth's landscape. It will enable us to reach two fundamental goals of this program: a) distinguishing and understanding the dominant mechanisms in the configuration and evolution of a physical system, and b) reproduce and, therefore, predict the present and past behavior of the system. Within this framework of numerical/analogue modeling or simulation, we intend to:

- a. To characterize the structure of the crust and upper mantle according to its geometry, density possible dominant composition, pressure and temperature conditions, stress regime, and rheological behavior in the present conditions.
- b. To determine isostatic mechanisms, compensation depth, and thermal and compositional contributions to dynamic topography, as linked to heterogeneities in the

upper mantle and better understand the occurrence of seismic events in the ductile domain of the lithospheric mantle.

- c. Discern the main processes acting in the Iberian Peninsula and its margins. Particularly, we intend to propose mechanisms explaining the evolution of the Gibraltar Arc and adjacent regions, the intraplate deformation of Iberia and its changeable orientations and the evolution of the southern limit of the Peninsula (Cantabrian margin, and Pyrenean collision).
- d. Application of integrated evolutionary models of topography and tectonics to simulate the past evolution and future of drainage networks, vertical motions and surface transport associated to regional scale and continental scale.
- e. Development of new numerical modeling tools and analogue experiments incorporating novel aspects in the modeling domain. In this sense, it is remarkable the incorporation of petrophysical and mineralogical variables, phase changes, and mechanical discontinuities to the models of subduction, delamination, and wide-sense lithospheric deformation.

5. PRESUPUESTO DETALLADO PARA EJECUTAR EL PROGRAMA PROPUESTO.

El presupuesto del Programa y, si corresponde, las diversas fuentes de financiación, con el calendario previsto para la ejecución del mismo. Se indicará justificadamente la financiación que se solicita por bloques de conceptos financiables con fondos CONSOLIDER.

A continuación se presenta el presupuesto estimado de ejecución del programa *Topo-Iberia*, desglosado por bloques de conceptos financiables.

Hay que señalar que existe un compromiso de Co-financiación por parte de la entidad gestora de este programa, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Dicha entidad aportaría de sus fondos propios el 20 % del total (hasta 1.000.000 de Euros), según se recoge en el Documento que se adjunta.

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Madrid, 26 de abril de 2006

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas está participando activamente en el Programa Consolider del Ministerio de Educación y Ciencia, con el convencimiento de que las iniciativas que se desarrollen a su amparo van a suponer un importante salto cualitativo en los ámbitos de mayor interés estratégico de la Ciencia española.

Por ello, como muestra objetiva y tangible de este compromiso institucional, el CSIC ha decidido cofinanciar todos los proyectos del Programa Consolider-Ingenio 2010 en los que el Investigador Coordinador del Programa sea un investigador del CSIC y éste actúe como entidad gestora.

En concreto, para que surta los efectos oportunos en su valoración de acuerdo al apartado décimoséptimo 2e de la convocatoria, el CSIC apoyará el proyecto:

Identificador solicitud: 10720

Título Proyecto: Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D. "Topo-Iberia"

Investigador Coordinador: José Gallart Muset

Con una aportación del 20 % del coste del proyecto, según se determine en la resolución de concesión, con un límite superior de un millón de euros. Esta ayuda se pondrá a disposición del Equipo de Investigación, para su utilización por todos los grupos que lo integran, independientemente de la institución a la que pertenezcan, de acuerdo con las directrices que se establezcan en el convenio de ejecución correspondiente.

José M. F. de Labastida
Vicepresidente

CSIC SERANGL 113
28004 MADRID, ESPAÑA
TEL.: 91 585 52 04
FAX: 91 585 57 69

PRESUPUESTO DE COSTES MARGINALES

3.1 Gastos de Personal a contratar con cargo al programa de actividad investigadora

Personal que se va a contratar	Salario bruto anual incluidos costes sociales	Dedicación al proyecto			Coste imputable al proyecto	% del coste que se solicita	Ayuda que se solicita	Justificación de su necesidad y tareas que realizará
	EURO	Nº de horas/mes	Nº de meses	Nº total horas	EURO		EURO	
PERSONAL DE NUEVA CONTRATACIÓN								
1 Técnico superior de gestión	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Necesario para la coordinación general, gestión de distribución de recursos económicos entre todos los grupos participantes, seguimiento del cumplimiento de objetivos y justificación final
1 Técnico/Licenciado de gestión de bases de datos	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Creación y mantenimiento de bases de datos geológico-geofísicos existentes y que se adquirirán en el proyecto
1 Técnico/Licenciado en adquisición y análisis de nuevos datos GPS	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Necesario para participar en la adquisición continuada durante el proyecto y procesado de nuevos datos con red de GPS
1 Técnico/Licenciado en adquisición y procesado de nuevos datos sísmicos	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Se instalará durante todo el proyecto una densa red de decenas de estaciones sísmicas en registro continuo, que generarán una masiva cantidad de información que deberá gestionarse (despliegue, recuperación de datos sobre el terreno y análisis en laboratorio)
1 Técnico/Licenciado en adquisición y procesado de sísmica y magnetotelúrica	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	La enorme cantidad de información sísmica requerirá del apoyo de una 2ª persona para su gestión. Esta persona se ocuparía también de la adquisición y gestión de los nuevos datos de los perfiles de Magnetotelúrica
TOTAL					750.000,00		750.000,00	

3.2 Costes directos de ejecución: Gastos de inversión en equipamiento

Nuevo equipamiento que se requiere	Coste	Justificación de su necesidad
	EURO	
40 Estaciones sísmicas de Banda Ancha	800.000,00	El despliegue de una red sísmica densa y extensa, que acabe cubriendo toda la península es objetivo básico en el proyecto. Se requieren este pool nacional de equipos para completar los ya existentes
25 Equipos GPS	450.000,00	La plataforma de observación IberArray debe efectuar en toda la Península y Norte de África mediciones de deformaciones mediante una red de instrumentos GPS. Se requiere una muy alta precisión (uso de antenas tipo 'choke ring', etc.)
10 Estaciones de magnetotelúrica	500.000,00	En la plataforma IberArray deben efectuarse también sucesivas transectas de magnetotelúrica que requieren estos nuevos equipos para completar los existentes
10 Estaciones de trabajo y accesorios	90.000,00	Necesidad de procesar la masiva cantidad de nueva información que se va a adquirir, y de desarrollar modelos numéricos evolutivos con altos requisitos informáticos
2 Vehículos TT acondicionados para intervención geofísica	80.000,00	Las campañas geofísicas que se efectuarán de manera continuada requieren vehículos adaptados para la correcta gestión de los instrumentos y datos sobre el terreno
Software diverso de procesado geofísico	50.000,00	Los análisis innovadores previstos requieren disponer de los softwares más avanzados de procesado e interpretación de los nuevos datos
TOTAL	1.970.000,00	

3.3 Costes directos de ejecución: Si ha lugar, Gastos de Infraestructura (construcción,...)

Elemento a construir (m2) y equipamiento de primera vez	Coste	Justificación de su necesidad
	EURO	
TOTAL	0,00	

3.4 Costes directos de ejecución: Otros costes de ejecución

Entidad colaboradora o de subcontratación de servicios, costes de seguimiento	Coste	Justificación de su necesidad y tareas que realizará
	EURO	
Análisis geocronológicos en laboratorios internacionales	200.000,00	Los estudios topográficos planteados requieren mediciones geotermométricas de alta precisión, cuyo análisis debe efectuarse en laboratorios internacionales muy específicos
Adquisición de datos de alta resolución en zonas específicas	250.000,00	El proyecto contempla adquirir en zonas de especial interés datos de muy alta resolución, con experimentos geofísicos específicos con mayor densidad de mediciones
Gastos diversos relativos a las campañas	250.000,00	Deben contemplarse gastos de alquiler de vehículos, de combustible o transporte para las acciones continuadas sobre el terreno, así como seguros de personal durante los experimentos y de instrumental, reparaciones de equipos, etc.
TOTAL	700.000,00	

3.5 Costes directos de ejecución: Viajes y Dietas

Entidad colaboradora o de subcontratación de servicios, costes de seguimiento	Coste	Justificación de su necesidad y tareas que realizará
	EURO	
Reuniones de coordinación y workshops internos	200.000,00	La multiplicidad de grupos y de temáticas de investigación requerirán un esfuerzo importante y continuado de coordinación interna, científica y logística
Campañas geológicas de adquisición de datos	300.000,00	En las diversas áreas objeto de estudio en la península deberán adquirirse nuevos datos relevantes en campañas de larga duración temporal
Instalación y mantenimiento de redes geofísicas	500.000,00	Un objetivo básico del proyecto es el despliegue durante la totalidad del mismo de redes geofísicas (sísmicas GPS y MT) cubriendo toda la península, en funcionamiento continuo
Difusión de resultados, workshops internacionales	300.000,00	Se requerirá un esfuerzo especial en preparación de resultados multidisciplinares, modelos interpretativos integrados, y su posterior difusión en el circuito científico internacional
TOTAL	1.300.000,00	

3.6 Costes directos de ejecución: (Funcionamiento)

Concepto	Coste	Justificación de su necesidad
	EURO	
Consumibles para instrumentos de campo	200.000,00	El funcionamiento en modo de registro continuo de los equipos multidisciplinares requiere una gran cantidad de consumibles diversos
Materiales cartográficos, reproducción, difusión etc.	100.000,00	Los estudios sobre el terreno requieren multitud de documentos de cartografía de precisión, material de reproducción, de oficina, o de difusión (incluyendo videos de campañas, etc.)
TOTAL	300.000,00	

3.7 RESUMEN DEL PRESUPUESTO DESGLOSADO POR CONCEPTOS

Concepto		Ayuda que se solicita
		EURO
COSTES DE PERSONAL A CONTRATAR CON CARGO AL PROGRAMA ACTIVIDAD INVESTIGADORA (a)		750.000,00
COSTES DIRECTOS DE EJECUCION		
CONCEPTO	COSTE	
Material inventariable	1.970.000,00	
Infraestructura-Construcción, equipamiento	0,00	
Funcionamiento	300.000,00	
Viajes y Dietas	1.300.000,00	
Otros gastos	700.000,00	
TOTAL COSTES DIRECTOS DE EJECUCIÓN (b)		4.270.000,00
COSTES INDIRECTOS (c)		0,00
TOTAL COSTE DE EJECUCIÓN (a + b + c)		5.020.000,00

5. DETAILED BUDGET FOR THE PROPOSED RESEARCH PROGRAMME

The budget of the Topo-Iberia programme is presented hereafter, detailed in funding concepts.

It has to be emphasized that there is a formal engagement of complementary funding support assumed by the managing institution of this programme, the Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). The CSIC will provide from own funds the 20 % of the total amount (up to 1.000.000 Euros), as indicated in the enclosed document.

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



CONSEJO SUPERIOR
DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS

Madrid, 26 de abril de 2006

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas está participando activamente en el Programa Consolider del Ministerio de Educación y Ciencia, con el convencimiento de que las iniciativas que se desarrollen a su amparo van a suponer un importante salto cualitativo en los ámbitos de mayor interés estratégico de la Ciencia española.

Por ello, como muestra objetiva y tangible de este compromiso institucional, el CSIC ha decidido cofinanciar todos los proyectos del Programa Consolider-Ingenio 2010 en los que el Investigador Coordinador del Programa sea un investigador del CSIC y éste actúe como entidad gestora.

En concreto, para que surta los efectos oportunos en su valoración de acuerdo al apartado decimoséptimo 2e de la convocatoria, el CSIC apoyará el proyecto:

Identificador solicitud: 10720

Título Proyecto: Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D. "Topo-Iberia"

Investigador Coordinador: José Gallart Muset

Con una aportación del 20 % del coste del proyecto, según se determine en la resolución de concesión, con un límite superior de un millón de euros. Esta ayuda se pondrá a disposición del Equipo de Investigación, para su utilización por todos los grupos que lo integren, independientemente de la institución a la que pertenezcan, de acuerdo con las directrices que se establezcan en el convenio de ejecución correspondiente.

José M. F. de Labastida
Vicepresidente

C/ SERRANO, 113
28006 MADRID, ESPAÑA
TEL.: 91 585 52 84
FAX: 91 585 52 89

MARGINAL COSTS BUDGET

1 Personnel Costs

Additional Personnel to be contracted	Brute Salary per year, including taxes	Dedication to the project			Project Cost	% of cost requested	Total Amount requested	Explanation of needs and tasks to be done
		N° hours/month	N° months	N° total hours				
	EURO				EURO		EURO	
PERSONNEL TO BE CONTRACTED								
1 Management expert	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Needed for general coordination, management of economic resources among all participant groups, checking of objectives achievement, and periodical and final reports
1 Technician/Graduated for data base management	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Implementation and management of geological-geophysical databases, both existing and acquired during the project
1 Technician/Graduated for acquisition and analysis of new GPS data sets	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Needed to participate in the continued acquisition and processing of new data from the GPS network
1 Technician/Graduated for acquisition and processing of new seismic data sets	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	A dense network of tens of seismic stations will be deployed throughout the project, in continuous recording mode and will provide a massive amount of information to be managed. Needed for deployment, field data recovery and processing in lab.
1 Technician/Graduated for acquisition and processing of seismics and magnetotellurics	30.000,00	37	60	2220	150.000,00	100	150.000,00	Management of the huge amount of seismic information will require support from a second person, who will be involved also in the acquisition and analysis of the new Magnetotelluric data
				TOTAL	750.000,00		750.000,00	

2 Direct Costs: Equipment

New equipment requested	Cost	Explanation of needs
	EURO	
40 Broad Band Seismic stations	800.000,00	A major aim of the project is the deployment of a dense, widespread seismic network that covers the Iberian Peninsula. These requested stations, regarded as a first part of a 'national pool' are mandatory to achieve the aim, complemented by the existing stations in different groups
25 GPS stations	450.000,00	The observational platform IberArray should perform deformation measurements in the whole Peninsula and North Morocco, using a GPS network of high accuracy (use of antennas type 'choke ring', etc.)
10 Magnetotelluric stations	500.000,00	Within the IberArray platform, several Magnetotelluric transects are also envisaged. They require this new equipment, to be used together with the already existing stations
10 Workstations and peripherals	90.000,00	Needed to analyze the massive amount of new information to be acquired, and to develop evolutionary models with high computing requests
2 Vehicles allroad equipped for geophysical interventions	80.000,00	The continued geophysical field experiments would benefit from allroad vehicles specifically equipped to manage the instruments and data <i>in situ</i>
Geophysical analysis Software	50.000,00	The innovative analyses envisaged require the use of advanced software for processing and interpretation of new datasets
TOTAL	1.970.000,00	

3 Direct costs of execution. If needed, Infrastructure expenses (building,...)

Element to built (m2) and first time equipment	Cost	Explanation of needs
	EURO	
TOTAL	0,00	

4 Direct costs of execution: Other costs

Collaborative institution, or Subcontracted services	Cost	Explanation of needs
	EURO	
Geochronological analyses in International Laboratories	200.000,00	The studies of topography envisaged require high precision geothermometric measurements and the corresponding analyses should be accomplished in specific international laboratories
Acquisition of high resolution data in specific areas	250.000,00	The project considers acquisition of high resolution data in key targeted areas, by means of geophysical experiments with higher density of measurements
Diverse expenses in relation with field experiments	250.000,00	Expenses related to the continued actions on the field, such as hiring vehicles, petrol, transportation, insurances, repairing instruments, etc.
TOTAL	700.000,00	

5 Direct costs of execution: Travel and expenses

	Cost	Explanation of needs
	EURO	
Coordination meetings and internal workshops	200.000,00	The number of groups and multidisciplinary research themes will require an important, continued effort of internal coordination, both in scientific and logistic aspects.
Geological campaigns of data acquisition	300.000,00	In several study areas of the Iberian Peninsula new relevant data should be acquired in continued field campaigns during the project
Deployment and maintenance of geophysical networks	500.000,00	A major aim of this research is the deployment throughout the project of geophysical networks (seismic, GPS and MT) covering the whole scope areas
Dissemination of results, international workshops	300.000,00	A special effort will be required to achieve and manage multidisciplinary results, integrated interpretative models, and farther dissemination at the appropriated international level
TOTAL	1.300.000,00	

6 Direct costs of execution: Operational costs

Concept	Cost	Explanation of needs
	EURO	
Consumables for field instruments	200.000,00	The multidisciplinary field equipment operating in continuous recording mode requires a great amount of consumables
Cartographic materials, reproduction, diffusion, etc.	100.000,00	The field studies require also a great amount of cartographic documents of high precision, reproduction and diffusion materials (f.e. including video recording of experiments), etc.
TOTAL	300.000,00	

7 Budget Summary

Concept		Requested Amount
		EURO
PERSONNL COSTS		750.000,00
DIRECT EXECUTION COSTS		
CONCEPT	COST	
New Equipment	1.970.000,00	
Infrastructure, Building, etc.	0,00	
Operational	300.000,00	
Travel and expenses	1.300.000,00	
Other costs	700.000,00	
TOTAL DIRECT EXECUTION COSTS (b)		4.270.000,00
INDIRECT COSTS (c)		0,00
TOTAL EXECUTION COSTS (a + b + c)		5.020.000,00

