

INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

Geología, Geodesia y Geofísica (CSIC - UCM)

1ª Reunión Científica
Madrid, 15 y 16 de septiembre de 2011



1ª Reunión Científica Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM)
Madrid, 15 y 16 de septiembre de 2011

EDITA

Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM)
www.igeo.ucm-csic.es



Madrid, noviembre 2011

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en materia alguna por ningún medio sin permiso por escrito del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM).

1ª Reunión Científica IGEO (CSIC-UCM)

© DE LOS AUTORES

© INSTITUTO DE GEOCIENCIAS, IGEO (CSIC-UCM)

Editores: Elena M. Pérez-Monserrat y María Charco

Edita: Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC-UCM)

I.S.B.N: 978-84-615-7005-8

INDICE

Presentación	1
--------------	---

LÍNEAS Y SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DEL IGEO

Línea de Investigación Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra

Estructura, Modelado y Dinámica de la Tierra Sólida	7
Space Geodesy, Potential Fields (gravity and geomagnetic) and Geomathematics	19
Geoquímica y Evolución Tectonomagmática de la Tierra	29
Terremotos y Volcanes	37

Línea de Investigación Evaluación del Sistema Tierra y Variabilidad Climática

Análisis de Cuencas, Paleoambiente y Paleogeografía Global	47
Episodios Críticos en la Historia de la Tierra	59
Paleoclimatología y Cambio Global	69

Línea de Investigación Geomateriales

Deterioro y Conservación de Materiales Geológicos del Patrimonio	83
Sublínea Procesos de Formación Mineral	95

COMUNICACIONES CORTAS 107

Influencia del Atlántico Tropical en El Niño Pacífico e implicaciones climáticas

Un nuevo mecanismo desencadenante de los eventos Heinrich del último período glacial

Simulaciones de cambio climático abrupto glacial con un modelo de complejidad intermedia

Simulaciones climáticas del último milenio: explorando diferentes respuestas al forzamiento externo

Los minerales del grupo de los APS en las rocas sedimentarias continentales del Triásico Inferior-Medio del SE de la Cordillera Ibérica: Implicaciones en la recuperación de la crisis Permo-Triásica

Finca Experimental La Higuera: Investigaciones sobre la degradación de los recursos edáficos por procesos erosivos en sistemas agrícolas y otros medios antrópicos (1992-2011)

Variabilidad de la circulación a gran escala y el contenido de calor oceánico en el período 1000 a 2100 DC

Estudio de la topografía dinámica resultante del hundimiento asimétrico de una raíz densa: el caso de Sierra Nevada, California

El centro de interpretación de la Cueva de Castañar: un ejemplo de difusión de la investigación en Geología Sedimentaria

Carbonatos continentales en contextos geológicos poco frecuentes: el caso del ravertino de Azuaje (Gran Canaria)

The Blake event recorded in a speleothem from Cobre Cave, Palencia, Spain

Arqueomagnetismo en la Península Ibérica y el norte de África

Anisotropía magnética en cristales naturales de hematites

Modelado de la variación secular del campo magnético de la Tierra en los últimos 10000 años

Desarrollo de un modelo numérico para la simulación de dinámica magma-roca

Segmentación y clasificación en la toma de decisiones

UNIDADES TÉCNICAS

125

La Biblioteca del Instituto de Geociencias

Unidad Técnica de Cálculo Científico y Procesado de Datos

Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelado Análogo. Sección de Microscopía y Mineralogía

Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelado Análogo. Sección de Petrofísica

Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote: Laboratorio Natural de Investigación

Instalaciones Geodinámicas en el Valle de los Caídos

Unidad Técnica de Geocronología e Isótopos Estables. Sección de Dataciones Absolutas por Técnicas de Luminiscencia

Unidad Técnica de Geocronología e Isótopos Estables. Laboratorio de Isótopos Estables

Unidad Técnica de Geodesia, Geofísica y Magnetismo de Rocas. Laboratorio del Grupo de Paleomagnetismo, Magnetismo de Rocas y Modelado Geomagnético

Unidad Técnica de Preparación de Muestras

PRINCIPALES PROYECTOS FINANCIADORES

137

EL INSTITUTO DE GEOCIENCIAS, UN CENTRO MIXTO DE INVESTIGACIÓN ENTRE EL CSIC Y LA UCM

El Instituto de Geociencias (IGEO) inició su actividad el 18 de enero de 2011, con la firma de creación del Instituto entre el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El Instituto tiene cuatro sedes, ubicadas en las Facultades de Ciencias Geológicas, de Ciencias Matemáticas y de Ciencias Físicas, dentro del Campus de Moncloa de la UCM, y en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN). En el IGEO se integran 74 Doctores, pertenecientes a la UCM y al CSIC, se incorpora personal técnico de administración y de laboratorios así como personal en formación. Esta integración e incorporación de personal hace que este Instituto sea en España uno de los más grandes dedicados a la investigación en las Ciencias de la Tierra.

En este nuevo Instituto Mixto se integran especialistas de diferentes ramas de las Ciencias de la Tierra, como la Geología (Estratigrafía y Paleontología, Geodinámica, Mineralogía, Petrología), Geodesia, Geofísica, Geoquímica, Geomatemáticas y especialistas en variabilidad climática y paleoclimas. El Instituto de Geociencias realizará una investigación integradora, con un alto grado de interdisciplinariedad técnica y conceptual en Ciencias Geológicas, Físicas, Matemáticas y Químicas, destinadas al avance en el conocimiento de la dinámica y evolución con el tiempo del planeta Tierra.

Un centro de investigación de estas características tiene que generar conocimiento y saberlos transmitir, para afrontar los retos sociales, económicos, ambientales y de sostenibilidad a los que se enfrenta la humanidad. Las investigaciones que se realizan en el IGEO van en esta dirección, ya que parten de la transmisión de conocimientos que pueden ser aplicados a la localización de recursos minerales, la detección de riesgos naturales (sísmicos, volcánicos, inundaciones...), los efectos del cambio climático, la mejora de la calidad de los geomateriales y el aprovechamiento de residuos mineros e industriales, así como el control de riesgos medio ambientales y la conservación del patrimonio geológico y cultural, entre otros. Pero el IGEO, como todo centro de investigación, tiene que permanecer atento a todos los cambios en el entorno para que las investigaciones sean dinámicas y de interés científico y social.

El Instituto tiene una estructura constituida por tres Departamentos de Investigación: Departamento de Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra, Departamento de Geología Sedimentaria y Cambio Medioambiental y Departamento de Geomateriales. Existen seis Unidades Técnicas de Investigación, con diferentes secciones o laboratorios analíticos, así como una Unidad Técnica de Administración y una Unidad de Apoyo y Servicios, que incluye la Biblioteca y el Servicio de Documentación, Calidad, Divulgación Científica, entre otros.

El objetivo que tiene esta Primera Reunión Científica es mostrar a la comunidad científica, y a otros diversos organismos, las actividades de investigación que desarrollamos y las Unidades Técnicas de las que dispone el IGEO, así como aquellas que en breve se van a ir implantando. La organización de esta reunión es un compromiso que adquirimos todos los miembros que participaron en las distintas fases de la creación del IGEO, que culminó con su Proyecto Científico y su Plan Estratégico 2010-2013. Lo que se pretende mostrar es el potencial investigador del Instituto y facilitar la colaboración con otros departamentos universitarios o institutos del CSIC y con diversos organismos de investigación, tanto en investigación como en formación de postgrado y divulgación de la ciencia.

Esta publicación que se presenta es reflejo de la reunión científica celebrada en la Sala Miguel de Guzmán de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la UCM los días 15 y 16 de septiembre de 2011. En la reunión se presentaron las investigaciones de las nueve sublíneas de investigación que desarrolla el IGEO, englobadas en las tres líneas principales del mismo:

- Dinámica terrestre y observación de la Tierra.
- Evolución del sistema Tierra y variabilidad climática.
- Geomateriales.

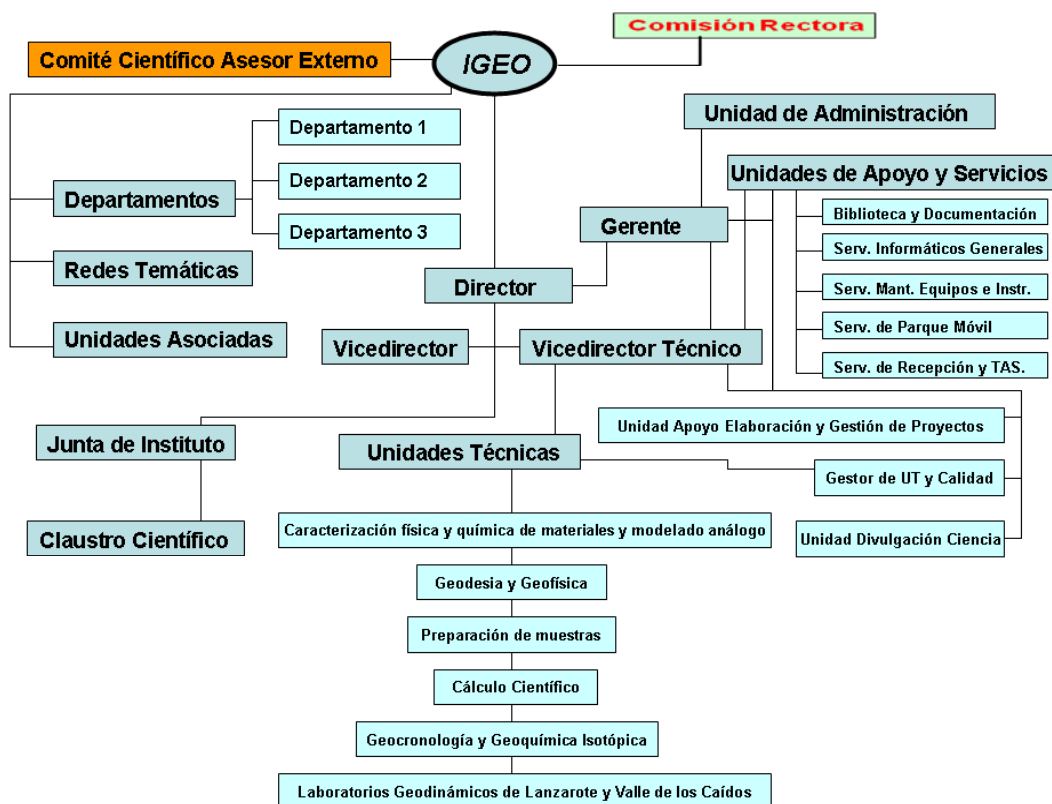
También se mostraron 16 comunicaciones cortas de investigaciones concretas realizadas por miembros del Instituto, en colaboración con otros investigadores de otros centros de la UCM o del CSIC o con otros organismos de investigación.

Un aspecto relevante del Instituto son sus Unidades Técnicas de Investigación. Estas Unidades tienen que estar a disposición de toda la comunidad científica. Estas Unidades Técnicas y sus secciones analíticas fueron presentadas en forma de póster.

El IGEO nace con un importante compromiso para potenciar las investigaciones en Geología, Geodesia y Geofísica. Creemos que hay una excelente oportunidad para desarrollar ideas y metodologías que permitan la interacción de las tres disciplinas e incrementen el valor de nuestros trabajos y que sea útil para toda la comunidad científica y, sobre todo, para la sociedad.

Rafael Fort, Director en funciones
Maurizio Mattesini, Vicedirector en funciones
Instituto de Geociencias (CSIC-UCM)

INSTITUTO DE GEOCIENCIAS
(Geología, Geodesia y Geofísica)
ORGANIGRAMA



DEPARTAMENTOS

1. Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra.
2. Geología Sedimentaria y Cambio Medioambiental.
3. Geomateriales.

Unidades Técnicas (UT)

Biblioteca del Instituto de Geociencias.

Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelado Análogo.

- Sección de Geoquímica Analítica.
- Sección de Petrofísica.
- Sección de Microscopía y Mineralogía.
- Sección de Modelado Análogo.

Unidad Técnica de Geodesia, Geofísica y Magnetismo de Rocas.

Unidad Técnica de Preparación de Muestras.

Unidad Técnica de Cálculo Científico y Procesado de Datos.

Unidad Técnica de Geocronología e Isótopos Estables.

- Sección de Datación de Alta Resolución LA Ar-Ar.
- Sección de Dataciones Absolutas por Técnicas de Luminiscencia.
- Sección de Isótopos Estables.

Unidades Técnicas Externas

Laboratorios Geodinámicos de Valle de los Caídos (Madrid) y Lanzarote (Islas Canarias).

Línea de Investigación Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra

Sublíneas:

Estructura, Modelado y Dinámica de la Tierra
Sólida

Space Geodesy, Potential Fields (gravity and
geomagnetic) and Geomathematics

Geoquímica y Evolución Tectonomagmática de la
Tierra

Terremotos y Volcanes

Estructura, Modelado y Dinámica de la Tierra Sólida

M. de las Doblas¹, J.J. Martínez-Díaz^{2,3}, M. Mattesini^{4,5}, A. Muñoz-Martín^{2,3}, A.M. Negredo^{4,5}, R. Tejero^{2,3} y G. de Vicente^{2,3}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

²Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España.

⁴Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. anegredo@fis.ucm.es

⁵Dpto. Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

Esta línea de investigación se centra en el estudio cuantitativo de procesos de la Tierra sólida que intervienen en un amplio rango de escalas temporales y espaciales: desde el núcleo interno terrestre hasta los procesos superficiales. Además se estudia y caracteriza desde procesos geodinámicos que ocurren a lo largo de millones de años (subducción, orogénesis, erosión/sedimentación) y que producen cambios graduales en la topografía de la Tierra, hasta deformaciones ‘instantáneas’ debidas a la ocurrencia de terremotos y a la actividad antrópica. Esto requiere una aproximación multidisciplinar que integre investigaciones de diferentes disciplinas de la Geología y la Geofísica. Los investigadores de esta sublínea tienen una formación variada y complementaria en diferentes ramas de las ciencias de la Tierra, física, matemáticas e informática. Las investigaciones que se realizan tienen unas claras implicaciones en estudios de fuerte impacto social y económico, como la mitigación de georriesgos, el desarrollo sostenible, la evolución del clima y del paisaje, etc. Este resumen de las actividades desarrolladas recientemente por los miembros de la sublínea se ha organizado comenzando con los procesos más superficiales y finalizando con los más profundos.

Estudios de tectónica activa aplicados a la peligrosidad sísmica

J.J. Martínez-Díaz^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. jmdiaz@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España.

Las actividades de esta línea de investigación están llevada a cabo fundamentalmente por los miembros del IGEO pertenecientes al Grupo UCM-CAM 9103608: «Tectónica Activa, Paleosismicidad y Riesgos Asociados». La actividad del grupo se ha centrado en los últimos años en Centro América (El Salvador, y Costa Rica) y en la Cordillera Bética. En Centro América destaca la línea de investigación centrada en el estudio integral con técnicas paleosísmicas, geodésicas (GPS) y de geología estructural de la Zona de Falla de El Salvador (Figura 1). Basándonos en los datos obtenidos a partir de estos estudios hemos identificado un mínimo de al menos siete grandes eventos sísmicos con ruptura superficial en los últimos 8.000 años, alguno de los cuales posiblemente afectó al segmento entero. Las rupturas que hemos asignado a cada evento varían desde 0,6 a 9,6 m de desplazamiento total de desgarre dextral. La existencia de estas fuentes sísmicas hace necesaria su parametrización tal y como se ha hecho en el segmento de San Vicente con el fin de introducir los datos obtenidos en los cálculos de peligrosidad sísmica de la región, en especial de las grandes ciudades localizadas a lo largo de la ZFES (Santa Ana, San salvador, San Vicente y San Miguel). En Costa Rica las investigaciones se centran en las fallas del Valle Central de Costa Rica donde se analiza la fuente sísmica del terremoto histórico de Cartago. Por lo que se refiere a los estudios en la península Ibérica entre otras zonas se han realizado estudios a lo largo de las fallas activas del este de la Cordillera Bética, sobre todo las fallas de Alhama de Murcia, Carrascoy y Crevillente. Especial atención se centra en el estudio de la fuente sísmica del terremoto de Lorca de 2011 (Mw 5.1).

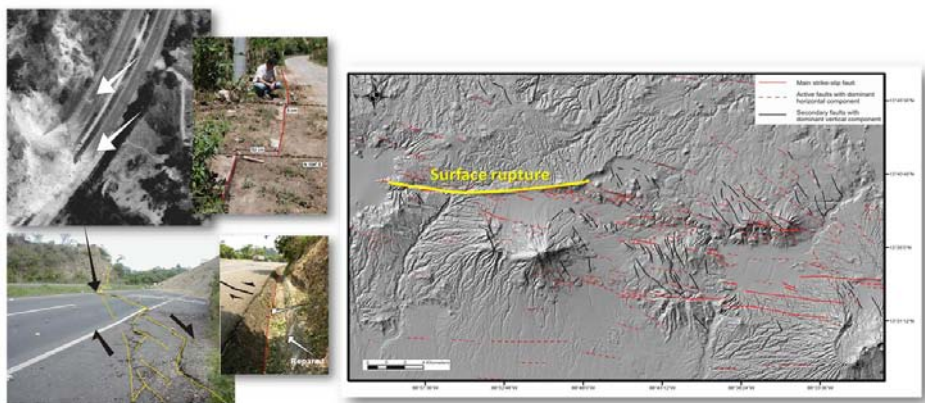


Figura 1. Ruptura superficial cosísmica del segmento San Vicente en la carretera Panamericana identificada durante la investigación que sirvió para definir por primera vez la Zona de Falla de El Salvador.

Tectónica activa en las placas Caribe e Ibérica

M. de las Doblas¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. doblas@mncn.csic.es

Las últimas investigaciones del Dr. de las Doblas se centran en el análisis de los terremotos de Haití (Enero 2010) y Lorca (Mayo 2011) desde el punto de vista de la Geología Estructural, Geodinámica y Tectónica. Para el terremoto de Haití efectuó un estudio detallado mediante imágenes de Google Earth de las deformaciones geológicas producidas por este seísmo, comparando fotos anteriores y posteriores a este evento. Asimismo expuso algunos de los principales riesgos potenciales asociados a estas deformaciones.

La figura 2 muestra de manera esquemática las zonas analizadas en los alrededores de Puerto Príncipe y de la falla de Enriquillo-Plaintain-Garden. Se reconocieron seis tipos básicos de deformaciones geológicas producidas por el terremoto: estructuras de licuefacción, derrumbes de ladera o avalanchas, fallas o fracturas, distorsión de deltas de los ríos, superficies con bloques caóticos y elevaciones costeras. Estas investigaciones, actualmente en fase de publicación, fueron colgadas en la página web <http://supersites.earthobservations.org/haiti.php>.

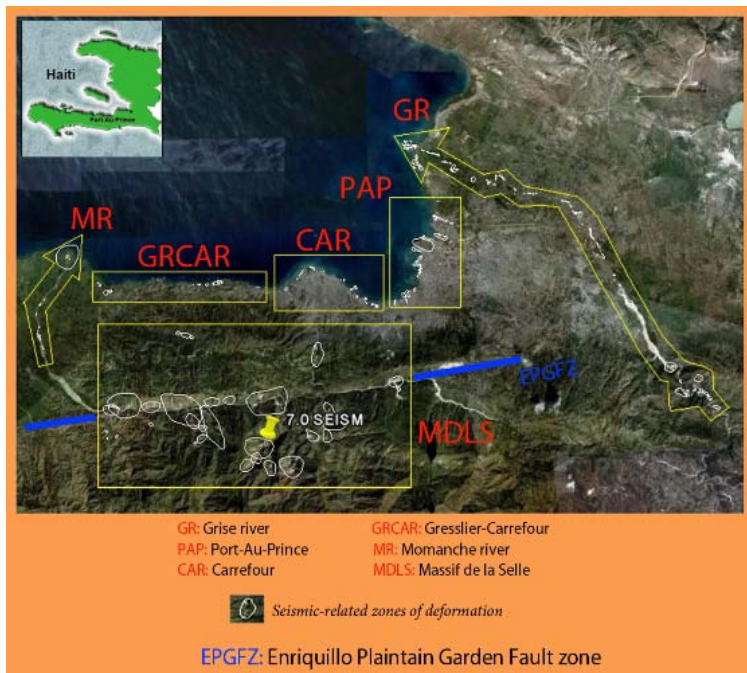


Figura 2. Principales zonas de Haití donde se han detectado mediante Google Earth deformaciones geológicas producidas por el terremoto de Enero del 2010.

Para el terremoto de Lorca ha propuesto un modelo de hidrosismicidad inducida por la actividad antrópica según el cual esta serie sísmica pudo verse afectada por la explotación intensa del acuífero del río Guadalentín. Esta sobre explotación produjo la mayor subsidencia de Europa en dicha cuenca según un estudio publicado por González y Fernández en la revista *Geology* (González y Fernández 2011). Nuestro modelo hidrosísmico se encuentra actualmente en fase de revisión en una revista internacional y un adelanto de estas ideas fue divulgado por la Agencia EFE en Junio de este año (<http://www.efeverde.com/contenidos/noticias/la-mano-del-hombre-posible-causa-de-la-gravedad-del-ultimo-sismo-en-lorca>).

Geomorfología Tectónica

R. Tejero^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. rosatej@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España.

Los procesos que construyen y deforman la corteza tienen una especial expresión en la superficie terrestre. En áreas activas, la deformación reciente crea estructuras claramente visibles en el paisaje y cuyo estudio es fundamental para conocer las condiciones en las que se produce la deformación. En zonas intraplaca, aunque no tan evidente, también el estudio de la topografía proporciona datos fundamentales de la estructura cortical, ya sea a escala regional o a escala local.

La Península Ibérica es un laboratorio ideal para estas investigaciones. Durante el Mesozoico el oeste peninsular fue una zona emergida caracterizada por extensas superficies de erosión. La tectónica alpina creó alineaciones montañosas y depresiones en las que se instalaron las cuencas terciarias continentales. En las zonas elevadas todavía se pueden identificar elementos de un paisaje relictos. ¿Cómo se construye el actual paisaje del Macizo Ibérico?, ¿cómo se forman y consolidan los grandes ríos atlánticos ibéricos?, ¿qué estructuras controlan la evolución de la dinámica fluvial?

Para contestar estos interrogantes se está realizando una investigación multidisciplinar centrada en:

- a) el análisis geométrico, cinemático y dinámico de las estructuras.
- b) la cartografía geológica y geomorfológica.
- c) el estudio de la composición y procedencia de los materiales cenozoicos.
- d) el análisis matemático de datos de topografía digital y geomorfología cuantitativa.
- e) la aplicación de técnicas geofísicas para determinar la geometría de las estructuras.
- f) la construcción de modelos de la deformación cortical y la datación de sedimentos fluviales recientes como terrazas mediante OSL y superficies de erosión mediante nucleidos radiogénicos.

Un ejemplo de los resultados obtenidos en uno de los aspectos que más está impulsando los estudios morfoestructurales, como es el análisis matemático del relieve se muestra en la figura 3. El análisis espectral de la topografía da idea de cómo se desarrolló el relieve peninsular. En las primeras etapas el acortamiento alpino generó un conjunto de depresiones E-O limitadas por áreas elevadas que responden a longitudes de onda de 200 a 50 km. El drenaje se canaliza hacia las zonas deprimidas donde también se van a acumular los productos de la erosión de los relieves recién formados (Tejero et al 2006, Tejero et al 2010). Estos análisis también permiten establecer hipótesis sobre la posible geometría de las redes de drenaje antiguas.

Los avances en el conocimiento de los procesos tectónicos y superficiales y la introducción de la cuantificación y los nuevos métodos de datación han rejuvenecido un campo que va a permitir descifrar parte de la historia geológica de áreas continentales antiguas que hasta ahora permanecía oculta.

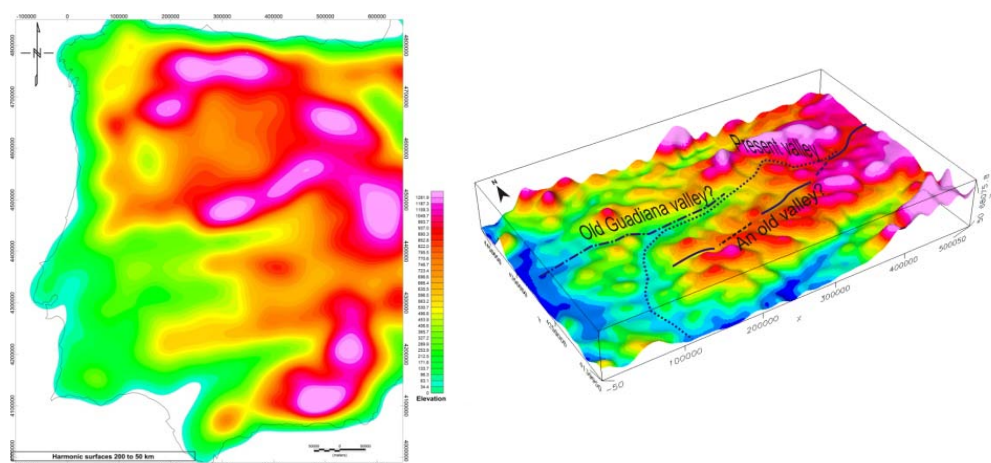


Figura 3. Modelo matemático del relieve de la Península Ibérica obtenido mediante análisis espectral.

Tectonofísica aplicada

A. Muñoz-Martín^{1,2}, J.L. Granja² y P. Llanes²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. amunoz@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España.

El G.I. en Tectonofísica Aplicada (*Facultad de CC, Geológicas, Dep. Geodinámica, UCM; Instituto de Geociencias - UCM-CSIC*) trabaja desde hace más de 10 años en geología y geofísica marina en diferentes áreas del planeta: Canarias, Baleares, Antártida, Margen de Galicia, y especialmente en el N del Mar Caribe. La investigación en los últimos años se ha centrado fundamentalmente en el estudio del borde N del Mar Caribe, debido a que es una zona marina muy desconocida, de gran complejidad geodinámica y con procesos

geológicos muy activos (deformación, sismicidad,...). Esta intensa y compleja actividad tiene efectos directos en la actividad social y económica en la Isla de la Española, tal y como ha quedado puesto de manifiesto por el reciente terremoto de 12/01/2010 de Haití. La zona en la que se centran los trabajos cubre un área marina situada desde el Pasaje de Anegada (entre Puerto Rico y las Islas Vírgenes) hacia el O, pasando por el cinturón deformado de Los Muertos (S de Puerto Rico y La Española), y las zonas con deformación transpresiva situada en el O de La Española.

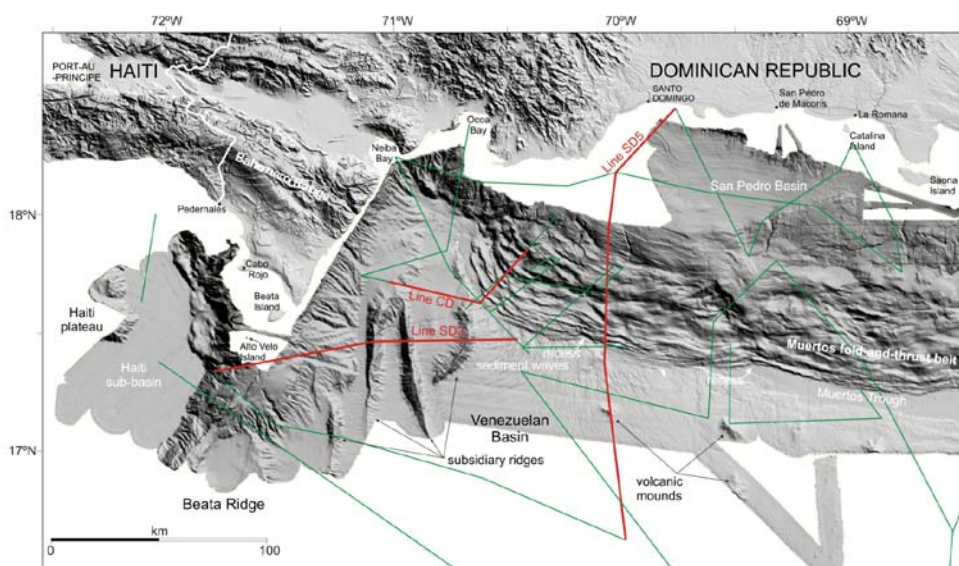


Figura 4. Mapa batimétrico de alta resolución obtenido en el S de la Española, con la posición de las secciones sísmicas realizadas en el Proyecto Caribe Norte.

En todos los proyectos desarrollados en el Norte de la Placa Caribe (GEOPRICO, CARIBENORTE, NORCARIBE) se realizaron los mapas de fondo marino con batimetría multihaz, campos potenciales (gravimetría y magnetismo), perfiles sísmicos profundos en tierra y mar mediante el fondeo de OBS, así como sísmica de reflexión multicanal. La aplicación de todas estas técnicas, y su integración e interpretación conjunta han permitido conocer la morfoestructura del área, las características de la deformación reciente, así como un nuevo modelo de límite de placa a lo largo del borde de placas en esta área, desechando la hipótesis de doble subducción. Con el Proyecto actualmente en activo se continuarán las investigaciones hacia el O (Haití), utilizando las mismas técnicas en colaboración con el USGS, el IEO, el ROA, Univ. Columbia y Austin.

Modelización numérica de procesos geodinámicos

A.M. Negredo^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. anegredo@fis.ucm.es

²Dpto. Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

Dentro del G.I 'Modelización litosférica: estructura y dinámica' se ha realizado un gran esfuerzo durante los últimos años para la creación y aplicación de algoritmos numéricos de procesos geodinámicos. En particular, los procesos modelados han sido la delaminación continental y la subducción. El primer proceso se caracteriza por un progresivo desgajamiento del manto litosférico y la corteza suprayacente. El manto litosférico se hunde en la astenofera al ser más denso que ésta. Después de simular la evolución característica de este proceso, las actividades recientes se centran en el cálculo de nuevos observables superficiales como la respuesta topográfica (Valera et al 2011), el magmatismo y la cantidad de fundido, y la evolución Presión-Temperatura-tiempo (PTt). Cabe destacar que la delaminación tiene un gran potencial para producir fusión parcial y magmatismo puesto que es el proceso que conlleva un mayor ascenso de material caliente a bajas profundidades.

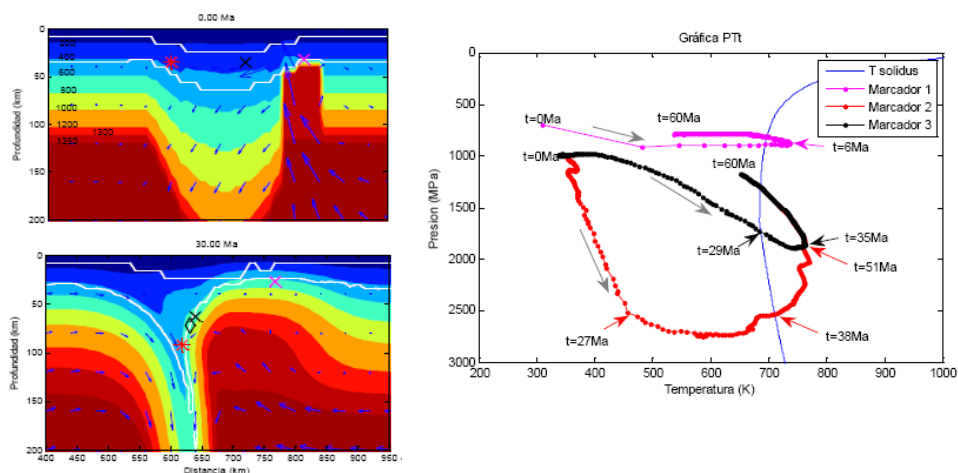


Figura 5. Distribución de temperatura y velocidad (izquierda) en el momento inicial y tras 30 Ma de evolución de un proceso de delaminación, y posición de tres marcadores. Las líneas blancas indican la base de la corteza superior y de la Moho. Evolución de presión y temperatura de los tres marcadores (mismo código de colores para los marcadores que a la izquierda).

En lo referente a la modelización numérica de proceso de subducción, en el grupo se ha analizado cuantitativamente el efecto del estado térmico de la placa superior en el ángulo de subducción, inicialmente en dos dimensiones (Rodríguez-González et al 2011) y actualmente en tres dimensiones. Las simulaciones 4D (geometría 3D con evolución temporal) han sido posibles gracias a la utilización de códigos completamente paralelizados que se ejecutan en *clústers* de ordenadores.

Dinámica del núcleo terrestre

M. Mattesini^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. mmattesini@fis.ucm.es

²Dpto. Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

Trabajos recientes han permitido el descubrimiento de varios fenómenos y propiedades del núcleo de la Tierra bastante inusuales y enigmáticos. La anisotropía del núcleo interno, es decir, el hecho de que las ondas sísmicas viajan más rápido en la dirección del eje polar de la Tierra que en la dirección ecuatorial, ha sido uno de los descubrimientos sismológicos más importante de los últimos años. Hay también evidencias de que el núcleo de la Tierra tiene una estructura bastante compleja y/o heterogénea (Breger et al 2000).

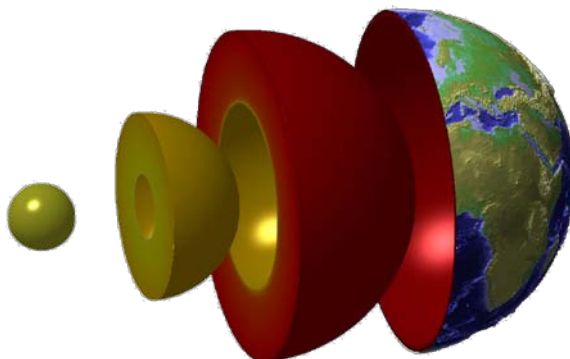


Figura 6. Esquema simplificado del interior de la Tierra.

Por otra parte, las simulaciones experimentales con métodos de celda de yunques de diamante (DAC) están limitadas por la imposibilidad de reproducir las condiciones de presión y temperatura del núcleo, es decir, 360 GPa y 7000 K. Debido a estas circunstancias, muchos aspectos fundamentales del núcleo de la Tierra son todavía controvertidos o poco entendidos. Por lo tanto, es esencial complementar los estudios experimentales con la moderna teoría de la materia condensada.

Mediante el uso de métodos de mecánica cuántica, como los métodos basados en la teoría del funcional de la densidad electrónica (DFT), es posible llevar a cabo estudios sobre las relaciones de fase y propiedades termoelásticas de las aleaciones FeNi en las condiciones de P-T típicas del núcleo interno. En este sentido tiene particular interés la determinación de la red cristalina más estable y la cantidad de elementos ligeros que pueden estar presentes en el núcleo sólido.

Teniendo en cuenta que no hay métodos directos para medir la velocidad del sonido de los materiales en las condiciones del centro de la Tierra, uno de los principales objetivos de esta sublínea es la evaluación numérica de las constantes elásticas de las aleaciones FeNi a elevadas presiones y temperaturas. Estos cálculos teóricos permiten un estudio sistemático de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales potenciales del núcleo de la Tierra, incluyendo los parámetros térmicos y elásticos que son de gran interés para la geofísica (Mattesini et al 2010).

Referencias

- Breger, L., Romanowicz, B., Rousset, S. (2000) New constraints on the structure of the inner core from P'P'. *Geophysical Research Letters* 27, 2781-2784.
- González, P.J., Fernández, J. (2011) Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multi-temporal satellite radar interferometry. *Geology* 39(6), 551-554.
- Mattesini, M., Belonoshko, A., Bufo, E., Ramírez, M., Simak, S.I., Udías, A., Mao, H.K., Ahuja, R. (2010) Hemispherical anisotropy patterns of the Earth's inner core. En: *Proceedings National Academy of Sciences U.S.A.* 107, 9507-9513.
- Tejero, R., González-Casado, J.M., Gómez-Ortíz, D., Sánchez-Serrano, F. (2006) Insights into the "tectonic topography" of the present-day landscape of the central Iberian Peninsula (Spain).
- Tejero, R., Garzón Heydt, G., Babín Vich, R., Fernández García, P. (2010) Long-Term Evolving "Tectonic" Landscapes within Intra-Plate Domains: The Iberian Peninsula. En: *Horizons in Earth Science Research*, vol 2, capítulo 4. Nova Science Publishers, Inc. EEUU.
- Valera, J.L., Negredo, A.M., Jiménez-Munt, I. (2011) Deep and near-surface consequences of root removal by asymmetric continental delamination. *Tectonophysics* 502, 257-265.

Modelización de procesos tectonosedimentarios y evolución del relieve

G. De Vicente^{1,2}, R. Vegas², A. Muñoz-Martín^{1,2}, L. Antón², J. Fernández-Lozano^{1,2}, A. Olaiz², M. Osete^{3,4}, A.M. Negredo^{3,4}, J. Tellez⁴ y D. Córdoba^{3,4}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Novais 2, 28040 Madrid, España. gdv@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Novais 2, 28040 Madrid, España.

³Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

El grupo de Modelación de procesos tectonosedimentarios y evolución del relieve se corresponde con el subprograma VII del Proyecto Consolider Ingenio 2010 TOPOIBERIA que lidera el investigador Josep Gallart del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera de Barcelona. Este proyecto involucra a más de 90 profesores e investigadores españoles y, con un presupuesto de más de 5.000.000 de euros proporcionará, a su término, una visión sobre la estructura y evolución de la litosfera ibérica sin parangón en las ciencias de la Tierra Sólida.

El subprograma VII, que dirige el Prof. G. de Vicente se ha centrado en el análisis y caracterización de las principales fallas cenozoicas de la Península Ibérica (Figura 7) y que son las que pueden nuclear la sismicidad actual (de Vicente et al 2011). Del estudio de las edades de la deformación reciente (durante el Terciario) y del relleno de las cuencas sedimentarias, se ha podido establecer que existen unas pautas comunes a todas ellas, por lo que la generación del relieve del microcontinente Iberia responde a un proceso global de plegamiento litosférico que produce una deformación muy distribuida (Cloetingh et al 2002). Este mecanismo tectónico ha producido unas pautas topográficas y gravimétricas muy evidentes con longitudes de onda entre 200 y 400 km (Muñoz-Martín et al 2010) relacionadas con la convergencia N-S (pirenáica) de Iberia acoplada mecánicamente a África (de Vicente y Vegas 2009).

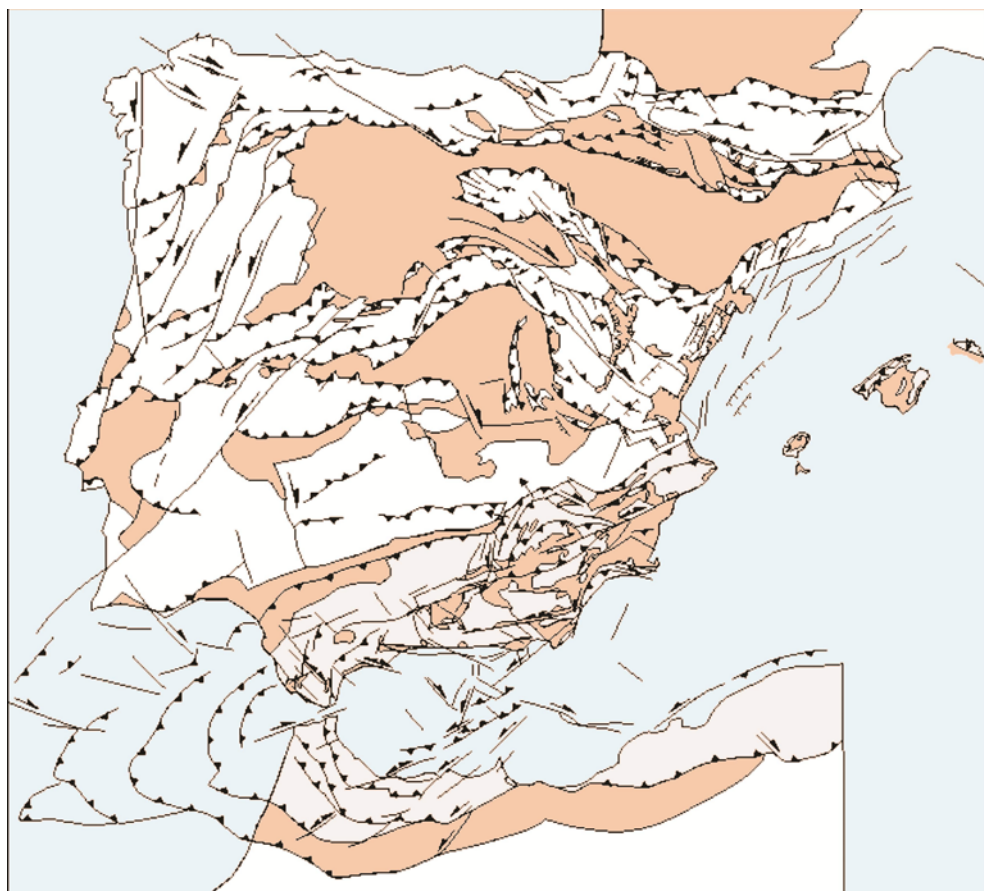


Figura 7. Mapa tectónico de las deformaciones cenozoicas del microcontinente Iberia donde se muestran las principales fallas activas durante las orogenias alpinas y la distribución de cuencas (beis) y cadenas (blanco).

Para contrastar la viabilidad del proceso de plegamiento litosférico, el grupo de investigación, en colaboración con el laboratorio de tectónica de la V.U. de Ámsterdam, ha llevado a cabo una serie de análisis mediante modelos numéricos (Cloetingh et al 2002) y análogos (Fernández-Lozano et al 2011), constatando que este mecanismo es capaz de explicar y controlar los levantamientos y hundimientos asociados al desarrollo de las cadenas y cuencas de la Península Ibérica (Figura 8). Cabe señalar que, entre los planes a medio plazo del IGEO, está el de la creación de un laboratorio de modelización análoga de procesos tectónicos.

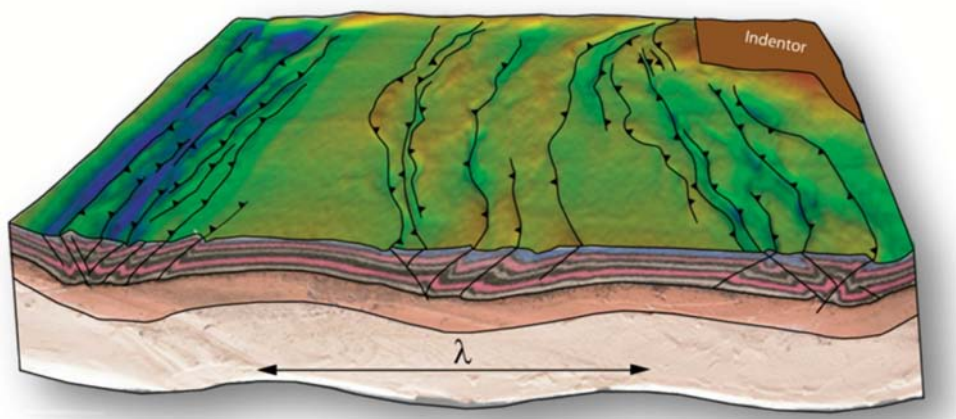


Figura 8. Ejemplo de modelo análogo litosférico con generación de pliegues que afectan a toda la litosfera. Los experimentos forman parte de la Tesis Doctoral de J. Fernández-Lozano (VU-UCM-CSIC).

Referencias

- Cloetingh, S., Burov, E., Beekman, F., Andeweg, B., Andriessen, P.A.M., García-Castellanos, D., de Vicente, G., Vegas, R. (2002) Lithospheric folding in Iberia. *Tectonics* 21(5), 1041.
- De Vicente, G., Vegas, R. (2009) Large-scale distributed deformation controlled topography along the western Africa-Eurasia limit: Tectonic constraints. *Tectonophysics* (monográfico sobre TOPO-EUROPE) 465 (doi: 10.1016/j.tecto.2008.11.026).
- De Vicente, G., Cloetingh, S., Van Wees, J.D., Cunha, P.P. (2011) Tectonic classification of Cenozoic Iberian foreland basins. *Tectonophysics* 502, 38-61.
- Fernández-Lozano, J., Sokoutis, D., Willingshofer, E., Cloetingh, S. y de Vicente, G. (2011) Cenozoic deformation of Iberia: A model for intraplate mountain building and basin development based on analogue modeling. *Tectonics* 30 TC 1001 (doi: 10.1029/2010TC002719).
- Muñoz-Martín, A., de Vicente, G., Fernández-Lozano, J., Cloetingh, S., Willingshofer, E., Sokoutis, D., Beekman, F. (2010) Spectral analysis of the gravity and elevation along the western Africa-Eurasia plate tectonic limit: Continental versus oceanic lithospheric folding signals. *Tectonophysics* 495 (doi:10.1016/j.tecto.2010.09.036).

Space Geodesy, Potential Fields (gravity and geomagnetic) and Geomathematics

J. Fernández¹, M.L. Osete^{2,3}, M. Herraiz^{2,3}, J. Arnosó¹, J. Montero^{1,4}, G. McIntosh^{2,3}, A.G. Camacho¹, F. Martín-Hernández^{2,3}, M. Charco¹, V.C. Ruiz^{2,3}, J.L.G. Pallero¹ and F.J. Pavón-Carrasco^{2,3}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Matemáticas. Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, Spain. jose.fernandez@csic.es

²Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, Spain.

³Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, Spain.

⁴Dpto. Estadística e Investigación Operativa I, Facultad de Ciencias Matemáticas (UCM). Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, Spain.

This new research sub-line, part of the Research Line/Department at Institute of Geosciences "Earth Dynamics and Earth Observation", includes the activities of four previously existing research groups: (i) Space Geodesy, Gravimetry and Geomathematics, (ii) Palaeomagnetism, Rock Magnetism and Geomagnetic Modelling, (iii) Terrestrial and Planetary Magnetic Field and Aeronomy, and (iv) Gravimetry, Tides and Geodynamics. These four research groups, which are included on it to work together and cooperate during the next years, have been working until now independently and with very few cooperation between them. In short, it includes the study and modelling of the Earth's (and others celestial bodies') shape, gravity and magnetic fields, and their variations in time and space, using terrestrial and space integrated geodetic, gravimetric, geomagnetic and paleomagnetic data and advanced mathematical models and techniques.

Scientific objectives

The scientific objectives of the research sub-line, in a non exhaustive way, can be grouped and summarized as follows:

Treatment of data and modelling:

- 1) Development of new data analysis mathematical techniques for geodetic, gravimetric, geomagnetic and archaeomagnetic data. In particular; fuzzy logic, Bayesian Statistics, Spherical Cap Harmonic Analysis (SCHA), Genetic Algorithm,...
- 2) Development and implementation of mathematical techniques for the integration of different kinds of geodetic terrestrial and space data (InSAR+GPS, Optical+InSAR+GPS,...).
- 3) Time series analysis and system identification using geodetic and geophysical observations.
- 4) Development of a new regional model of the Eurasian geomagnetic field for the last 8000 years. The new model will apply the RSCHA technique to obtain a model that permits prolongation in r . In addition, Bayesian statistics will be introduced into SCHA and RSCHA modelling.
- 5) Development of a first regional palaeosecular variation model for North America based on archaeomagnetic data by using the RSCHA technique.

6) Improve the method of detecting ionospheric bubbles by increasing equipment sensibility and mathematical treatment. Apply the improvements to the study of the equatorial South American anomaly using Argentinian observatory data.

Development of applications:

7) Development of deformation models for volcanic loading, earthquakes and land instability by using the new and existing geodetic observations. Models will be applied and tested to data from different areas (e.g.: Canary Islands, Spain; Long Valley Caldera, USA; Campi Flegrei and Etna volcano, Italy; earthquakes, etc...).

8) Study of crustal deformation and gravity changes in active areas using classical geodetic techniques and geodynamic stations (e.g., Canary Islands).

9) Development of new techniques to study and determine crustal structure and to carry out prospection by means of geodetic and geophysical data (e.g., using gravity data and combining gravity and seismic data).

10) Refine archaeomagnetic dating through field modelling. Application to dating volcanic activity in Italy and in the Canary Islands.

11) Comparison between variations in the archaeomagnetic field during the last 8000 years and climatic variations.

13) Revision of palaeomagnetic poles for the Iberian microplate and paleomagnetic rotations in the Betic Cordillera: constraints to tectonic modelling.

Potential fields (geomagnetism and gravimetry)

14) Research on Earth and Oceanic tides.

15) Study of ocean-atmosphere-earth interactions and the perturbations on geodetic observations.

16) Analyze the relationships between bubbles and flicker noise and other ionospheric phenomena (e.g. TIDs).

17) Study of supposed archaeomagnetic jerks during the last 7000 years.

New data acquisition

18) Obtain new archaeomagnetic data in poorly covered regions/time periods (e.g. the Dark Ages, pre-Roman ages, archaeointensidad in western Europe) or periods of particular interest (e.g. 16-17th Century - possible archaeomagnetic jerk).

19) Study the magnetic properties of novel ferromagnetic phases produced during heating of archaeological material (e.g. thermally stable maghaemite, cation-substituted haematite).

20) Obtain new paleomagnetic data from the Betic Cordillera and northern Morocco, in order to complete the pattern of the rotational deformation of these areas.

Associated Technical Units

The Technical Units at Institute of Geosciences, IGEO, more closely related to this Research Sub-line are the following:

Geodesy, Geophysics and Rock Magnetism

This unit covers instrumentation and observation aspects of those disciplines that define this Research Institute and that complement existing ones across the Earth Sciences in Spain. It refers to Geodetic positioning, gravity, geomagnetism, seismology, paleomagnetism and rock and mineral magnetism.

Scientific computation and data processing

The general objective of this Technical Unit is to provide advanced resources for scientific computation, as well as for data and image processing. The IGEO will be the only geosciences research center in Spain that has a facility for high performance computing (e.g., massive parallel multi-processor computing). This Unit is divided into three subsections:

- Computation and numerical modelling
- Geophysical and geodetic data processing
- Digital mapping, imaging and GIS

This Technical Unit will have a close connection with the Moncloa Campus of International Excellence (UCM-UPM), in particular with the computer systems purchased in the scientific cluster of Global Change and New Energies.

External Laboratories: Valle de los Caidos (Madrid) and Lanzarote (Canary Islands)

The two laboratories have a broad national and international reach in aspects of basic and applied research. The areas of interest include the vigilance and study of volcanic and tectonic activity and the development and testing of new instrumentation. This latter activity may lead to strong interaction with the industry of Earth Sciences instrumentation.

The Laboratory of Gravimetry and Earth Tides of the Valle de los Caidos, Madrid, (LGMV) is dedicated to the investigation in the field of the Gravity and Tides. It is located in the Valle de los Caidos, to about 45 km to the northwest of Madrid, in installations assigned by National Patrimony to the CSIC-UCM originally through the former Institute of Astronomy and Geodesy.

The Geodynamics Laboratory of Lanzarote (LGL) is a consequence of agreements with the Cabildo Insular de Lanzarote, the former IAG has scientific facilities in four different places of the island, three of them located at the Volcanic Tunnel of the La Corona Volcano, and the fourth place is inside the National Park of Timanfaya.

For more details about the Technical Units see the corresponding summaries.

Scientific activity

The scientific activity developed nowadays by the research sub-line has to be described, considering it is a new grouping of separated activities, by means of the activities of the different Research Groups included on it. A clear objective is to solve this, at least partially at the end of the current IGEO Strategic Plan.

Space Geodesy, Gravimetry and Geomathematics Group

The research carried out for this group, in a non exhaustive way, can be summarized in the following aspects:

a) Mathematical modelling in Earth Sciences: The amount of high precision Earth observation data (geodetic, geophysical and geological) is continually increasing. Prodigious data sets may cover diverse areas and incorporate unconventional techniques, and can be of a quasi-continuous temporal and geographical nature. This requires the need to address the theoretical studies of such data and establish new mathematical models that are capable of maximizing the benefits of the advances made in the technology of data acquisition. New analytical and numerical methods are needed for data processing, modeling and interpretation that take into account the increasing quality, variety, origin, temporal distribution (sporadic or continuous) and spatial distribution (punctual or quasi-continuous). Some recent results in this field are described by Tizzani et al. (2010), van Aalsburg et al. (2010), Camacho et al. (2011a, b, c), Charco and Galán del Sastre (2011), Tiampo et al. (2011), Rodríguez et al. (2012).

b) Space Geodesy, Positioning Systems and Remote Sensing: The applications of artificial satellites for Earth observation are becoming increasingly important. Space Geodesy covers a wide range of applications, from the determination of artificial satellite orbits to the detection of anomalous features (deformation, gravity variations, etc.) that may be associated with geological risks (e.g. volcanic eruptions, earthquakes and ground instability) or global change (variation in water mass, etc.). Research in this area includes various aspects of Earth observation from Space (instrumentation, data treatment techniques, error estimation, combination of terrestrial and space data, combination and interpretation of different space data types, applications, etc.). It represents a major area of Earth Science whose relevance is becoming increasingly important. Some recent results obtained in this line are described by González et al. (2010a), Eff-Darwich et al. (2011) and González and Fernández (2011a, b).

c) Geodetic monitoring of geological and anthropogenic hazards: Geological hazards that produce geodetic effects (e.g. deformation, gravity variations), in particular volcanic eruptions, earthquakes and ground instability, threaten a large part of the global population and may produce significant annual financial costs. Nor can anthropogenic hazards - those caused by human activity within the natural and urban environment - be neglected. Geodetic techniques provide valuable tools for the monitoring of both kinds of hazards, therefore they will represent one of the principal research areas in the next few years

Within this area two fundamental aspects can be recognised: the observation of geodetic effects and the interpretation of the anomalies observed, using theoretical models and inversion techniques. Therefore it is necessary to develop methodologies for the interpretation of geodetic observations that may be used by the institutions responsible for decision making in crisis situations - methodologies that should be tested, validated and above all rapidly and easily executable. Some recent results are described by González et al. (2010a, b), D'Oreye et al. (2011), González and Fernández (2011a, b), and Samsonov et al. (2011).

Palaeomagnetism, Rock Magnetism and Geomagnetic Modelling Group

The Earth's magnetic field is principally of internal origin. The composition of the outer core coupled with its complex dynamic behaviour gives rise to a magnetic field that has played an important role in the evolution of the planet and of life itself. Understanding the behaviour of the magnetic field over geological timescales is a principle goal of palaeomagnetism. Along with this, palaeomagnetism has important applications in other areas of geoscience and archaeology, marking it as a profoundly multidisciplinary subject involving physicists, geologists, geophysicists, mathematicians and archaeologists.

The Palaeomagnetism, Rock Magnetism and Geomagnetic Modelling Group is currently involved in the following key areas: plate tectonics and palaeoreconstructions (dynamics of the Iberian plate and the Iberia-Africa plate margins), geomagnetic field reversals and excursions, magnetic properties of the K-T boundary, meteorite magnetic properties, archaeomagnetism and archaeomagnetic dating, palaeosecular variation in Iberia and North Africa, environmental magnetism and palaeoclimate, magnetic properties of rocks, sediments and single crystals and modelling of the recent (last 8000 years) geomagnetic field modelling over the last 8000 years.

Archaeomagnetism has been a major field of interest of the group since 1996. Over the past 15 years the group has obtained more than 100 new data for the Iberian Peninsula, leading to the publication of the first reference secular variation curve for the region, covering the last 2000 years. This has led to a better understanding of the geomagnetic field and its variations on a trans-European scale and to the development of archaeomagnetic dating as a viable tool for Spain, Portugal and northern Africa.

The data have been a key element in developing geomagnetic field models, as set out below. Current and future objectives of the group are to extend the data set back in time and to fill in gaps in the temporal record (e.g. the Dark Ages between the 5th and 9th centuries AD), improve the geographical distribution of the data (e.g. to include northern Iberia and northern Africa, Gomez-Paccard et al, accepted) and to recover the full geomagnetic field vector information (both direction and intensity) of the Earth's recent past.

The Palaeomagnetism Research Group has also proposed the first regional models of the geomagnetic field in the European region based on palaeomagnetic data (archaeomagnetic data and lake sediment records). These regional models (Pavón-Carrasco et al 2009, 2010) allow the determination of the palaeosecular variation of the geomagnetic field for the last 8000 years: from 6000 BC to 1900

AD, connecting with the instrumental models, such as the IGRF models. Several strategies have been developed for the inversion process of the palaeomagnetic data by applying, in space, the spherical cap harmonic analysis SCHA and its revised version R-SCHA2D. In time, all models were obtained using the sliding overlapping windows method. Both models, called SCHA.DIF.3K (Pavón-Carrasco et al 2009) and .8K (Pavón-Carrasco et al 2010), can be used for analysing the palaeosecular variation of the geomagnetic field in Europe for the last 8000 years and related phenomena, such as archaeomagnetic jerks, the possible (or causal) relationship between the Earth's magnetic field and climate change, or the Geocentric Axial Dipole hypothesis (GAD). Moreover, it has been shown how they can be used as a tool for archaeological dating (Pavón-Carrasco et al 2011).

The Palaeomagnetism Research Group has also an intensive record in the sub-field of rock magnetism. In this line, the group has focussed on i) the identification of magnetic carriers in common palaeomagnetic and archaeomagnetic materials and exotic materials such as meteorites and meteor impact rocks, ii) fundamental rock magnetic properties in natural crystals and iii) anisotropy of magnetic fabrics in natural crystals and rocks.

Among the most important achievements in the identification of magnetic minerals of palaeomagnetic interest, the group has studied the characteristics of magnetic minerals carrying remagnetised directions and the magnetic fingerprint of remagnetisations. In the field of archaeomagnetism, the group has identified new magnetic phases with unique characteristics previously unrecognised in archaeomagnetic samples (McIntosh et al 2011). In the field of natural crystals, the group has published single crystal properties in some common rock forming minerals like phyllosilicates or magnetic minerals like goethite (Martin-Hernandez and Garcia Hernandez 2010) and hematite (Guerrero-Suárez and Martin-Hernandez 2011). It has also applied new mathematical models for the separation of magnetic sub-fabrics and determined the anisotropy constant in antiferromagnetic phases of palaeomagnetic interest (Martin-Hernandez and Guerrero-Suárez 2011)

In addition to this, new detailed Jurassic palaeoreconstructions of the Iberia-Eurasia-African plates have been recently proposed by the group (Osete et al 2011), along with new palaeopoles for the African tectonic plate (Palencia-Ortas et al 2011) as well as magnetostratigraphy (Comas-Rengifo et al 2010a, 2010b) and studies on the internal deformation of the Iberia-Africa plate boundary and central Mexico (Ruiz-Martinez et al 2010)

Terrestrial and Planetary Magnetic Field and Aeronomy Group

The research of this group fundamentally focuses on the study of the ionospheres of the Earth and Mars and on the modeling of the movement of charged particles in the Mars surface.

In the study of Earth's ionosphere special attention is being paid to the analysis of the equatorial plasma depletions known as Equatorial Plasma Bubbles and to the effects the ionosphere produces both on the electromagnetic waves transmission (scintillation) and on the Precise Point Positioning.

Following previous researches (Portillo et al 2008), a new post-processing technique has been developed to detect and characterize ionospheric plasma bubbles from GPS derived sTEC (slant Total Electron Content) data. A Java Program has been developed to implement this technique allowing its use in all the operative systems (OS) and the internet (Magdaleno et al 2011a). This method has been applied to data from the International GNSS Service (IGS) stations located in the American, Asian and African equatorial sectors. For years of high solar activity it was found that the number of depletions with amplitudes higher than 10 TECu is consistent with the results obtained by other authors for the topside ionosphere using satellite data. Our study draws the same conclusions but analyzing GPS derived sTEC data instead of in situ measurements (Magdaleno et al 2011b). A detailed analysis of the EPBs occurrence in South America has been also accomplished (Magdaleno et al 2011c).

Concerning the effect of the ionospheric disturbances on precise point positioning, a recent study (Moreno et al 2010) has proved that at equatorial latitudes post-sunset large changes in the Rate of Total Electron Content (ROT) can adversely affect the GPS signal, degrading accuracy and reliability of positioning. The estimated altitudes can contain very significant errors for a single-epoch position determination.

In the case of the Martian ionosphere, empirical models are being developed using radio-occultation data from the Mars Global Surveyor and ionospheric soundings obtained by the MARSIS instrument on board the Mars Express. The first step in this line of study was to apply the Chapman-layer model to a significant sample of radio-occultation data and verify the degree of validity in order to adjust the electron density profiles. The situation of the ionosphere was analyzed under different conditions of latitude, longitude, time of observation, season of the Martian year and solar activity, and these were compared with the characteristics and variations in the Earth's ionosphere (Sánchez-Cano et al 2010). Successive improvements of this initial model have been developed by using ionospheric soundings and considering solar activity, zenith angle, solar distance and annual station influences.

On the other hand, continuing with studies on Mars, numerical models have been proposed to analyze the behavior of the magnetized and charged particles near the surface of Mars. In this way, first we have worked with a theoretical magnetic field, and we have studied the trajectories described by charged particles (electron and proton) moving in this magnetic field. Then we have done the same calculations for other theoretical magnetic fields. The goal of this work is to analyze the behavior of the particles that come from the solar wind when they interact with the magnetic field on Mars. Also we want to link these phenomena with the presence of auroras on Mars, and use the real data from the Mars Global Surveyor to improve our models.

Likewise, studies to localize and characterize North Polar structures between Olimpia Undae and Scandia Cavi, an area previously poorly understood, are being carried out. All the Martian research takes place in the frame of the Meiga-METNET projects and with the collaboration of the European Space Agency.

Gravimetry, Tides and Geodynamics Group

The activity of this group concerns several geodetic and gravimetric topics. On the one hand, the studies of Earth tides and ocean tide loading. The Earth tide models obtained are used to correct precise geodetic and gravimetric measurements and to develop an observation network along the Iberian Peninsula, Canary Islands and North of Africa. Most recent stations have been established in Algodonales (Cádiz), El Hierro and Melilla. Harmonic analysis through the method of least squares is applied to estimate the observed tidal signal, and regression models are included to identify atmospheric perturbations (eg VAV program). Time series of gravity, tilt and strain measurements available in these researches are applied to investigate deformations of the Earth's crust. However, the main disturbing effect involved in these measures is the ocean. Therefore, ocean models based on tide gauge and satellite altimeter data assimilated into a hydrodynamic model are developed to compute the ocean tide loading (Benavent et al. 2009). In turn, this research has led to study the elastic response of Earth's crust, on tidal time scales (Arnoso et al 2011).

On the other hand, the research on Gravimetry is focused on the development of density contrasts models obtained by gravity inversion, with applications in volcanic islands and in archaeology. The mathematical methodology developed by this group, based on the application of genetic algorithm, provides 3D analysis of subsurface geological structures. Structural models for the islands of Fuerteventura, La Gomera and El Hierro in the Canaries and for some of the islands of Azores and Cape Verde archipelagos have been obtained most recently (eg, Montesinos et al 2006). Presently, joint inversion of gravity, magnetic and microseismic data are under development. The Geodynamics Laboratory of Lanzarote, which is a priority research objective of this group, makes it possible to develop instruments and methods for permanent geodetic and geophysical observations applied to studies in volcanic areas. Other researchers are related to the application of gravity observing methods, paying special interest to calibration and instrumental sensitivity. In addition, the gravity laboratories located in Madrid and Valle de los Caídos allow to develop these activities.

References

- Arnoso, J., Benavent, M., Bos, MS., Montesinos, FG., Vieira, R. (2011) Verifying the body tide at the Canary Islands using tidal gravimetry observations. *J. Geody.* 51, 258-365.
- Benavent, M., Arnoso, J., Montesinos, F.G. (2009) Regional ocean tide loading modeling around the Iberian Peninsula. *Journal of Geodynamics* 48, 132-137.
- Camacho, A.G., Fernández, J. Gottsmann, J. (2011a) A new gravity inversion method for multiple sub-horizontal discontinuity interfaces and shallow basins. *Journal Geophysical Research* 116, B02413 (doi:10.1029/2010JB008023).
- Camacho, A.G., Fernández, J., Gottsmann, J. (2011b) The 3-D gravity inversion package GROWTH2.0 and its application to Tenerife Island, Spain. *Comp. & Geosc.* 37, 621-633.
- Camacho, A.G., González, P.J., Fernández, J., Berrino, G. (2011c) Simultaneous inversion of surface deformation and gravity changes by means of extended bodies with free geometry. An application to deforming calderas. *Journal of Geophysical Research* (doi:10.1029/2010JB008165).
- Charco, M., Galán del Sastre, P. (2011) Finite Element Numerical Solution for Modelling Ground Deformation in Volcanic Areas. In: *Modern Mathematical Tools and Techniques*

- in *Capturing Complexity*, L. Pardo, N. Balakrishnan & M.A. Gil (eds.), Springer Series: Understanding Complex Systems, pp. 223-237.
- Comas-Rengifo, M.J., Gómez, J.J., Goy, A., Palencia, A., Osete, M.L. (2010a) The base of the Toarcian (Early Jurassic) at the Almonacid de la Cuba section (Spain). Ammonite biostratigraphy, magnetostratigraphy and isotope stratigraphy. *Episodes* 33(1), 15-22.
- Comas-Rengifo, M.J., Arias, C., Gómez, J.J., Goy, A., Herrero, C., Osete, M.L., Palencia, A. (2010b) A complementary section for the Toarcian (Early Jurassic) global stratotype: The Almonacid de la Cuba section (Spain). *Stratigraphy and Geological Correlation* 18(2), 31-50.
- D'Oreye, N., González, P.J., Shuler, A., Oth, A., Bagalwa, L., Ekström, G., Kavotha, D., Kervyn, F., Lucas, C., Lukaya, F., Wauthier, C., Fernández, J. (2011) The Bukavu-Cyangugu 2008 earthquake source parameters estimated from InSAR and teleseismic data. *Geophysical Journal International* 184, 934-948.
- Eff-Darwich, A., Pérez-Darías, J.C., Fernández, J., García-Lorenzo, B. González-Fernández, A., González, P.J. (2011) A new methodology to mitigate the effect of tropospheric water vapour from DInSAR data. *Pure and Applied Geophysics* 69(10) (doi:10.1007/s00024-011-0401-4).
- Gomez-Paccard, M., McIntosh, G., Chauvin, A., Beamut, E., Pavon-Carrasco, F.J. & Thiriot, J. Archaeomagnetic and rock magnetic study of six kilns from North Africa (Tunisia and Morocco). *Geophys. J. Int.* (accepted ref:GJI-S-11-0477).
- González, P.J., Chini, M., Stramondo, S., Fernández, J. (2010a) Co-seismic horizontal displacements using phase correlation of IRS satellite images: the 1999 Izmit (Turkey) earthquake. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 48(5), 2250-2242.
- González, P.J., Tiampo, K.F., Camacho, A.G., Fernández, J. (2010b) Shallow flank deformation at Cumbre Vieja volcano (Canary Islands): Implications on the stability of steep-side volcano flanks at oceanic islands. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 297, 545-557.
- González, P.J., Fernández, J. (2011a) Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multi-temporal satellite radar interferometry. *Geology* 39(6) 551-554.
- González, P.J., Fernández, J. (2011b) Error estimation in multitemporal InSAR deformation time series, with application to Lanzarote, Canary Islands. *Journal of Geophysical Research* (doi:10.1029/2011JB008412).
- Guerrero-Suárez, S., Martín-Hernandez, F. (2011) Magnetic anisotropy of hematite natural crystals: increasing low-field strength experiments. *International Journal of Earth Science* (doi:10.1007/s00531-00011-00666-y).
- Magdaleno, S., M. Herraiz, S.M. Radicella, 2011a. Ionospheric Bubble Seeker; a Java application to detect and characterize ionospheric plasma depletions from GPS data. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing* (in press).
- Magdaleno, S., Radicella, S.M., Herraiz, M. (2011b) Longitude characterization of GPS derived TEC depletions using a post-processing automatic technique. In: *Proceedings of the International Ionospheric Effects Symposium*.
- Magdaleno, S., Herraiz, M., De la Morena, B. (2011c) Characterization of equatorial plasma depletions detected from derived GPS data in South America. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* (in press).
- Martín-Hernandez, F., García Hernández, M.M. (2010) Magnetic properties and anisotropy constant of goethite single crystals at saturating high fields. *Geophysical Journal International* 181, 756-761.
- Martín-Hernandez, F., Guerrero-Suárez, S. (2011) Magnetic anisotropy of hematite natural crystals: high field experiments. *International Journal of Earth Science* (doi:10.1007/s00531-00011-00665-z).
- McIntosh, G., Kovacheva, M., Catanzariti, G., Donadini, F. Osete, M.L. (2011) High coercivity remanence in baked clay materials used in archeomagnetism. *Geochem. Geophys. Geosys.* Q02003 (doi:10.1029/2010GC003310).

- Montesinos, F.G., Arnosó, J., Benavent, M., Vieira, R. (2006) The crustal structure of El Hierro (Canary Islands) from 3-D gravity inversion. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 150, 283-299.
- Moreno, B., Radicella, S., de Lacy, M.C., Herraiz, M., Rodríguez Caderot, G. (2011) On the effects of the ionospheric disturbances on Precise Point Positioning at equatorial latitudes. *GPS Solutions* 15 (doi:10.1007/s10291-010-0197-1).
- Osete, M.L., Gómez, J.J., Pavón-Carrasco, F.J., Villalain, J.J., Palencia, A., Ruiz-Martínez, V.C., Heller, F. (2011) The evolution of the Iberia during the Jurassic from paleomagnetic data. *Tectonophysics* 502, 105-120.
- Palencia-Ortas, A., Ruiz-Martínez, V.C., Villalain, J.J., Osete, M.L., Vegas, R., Touil, A., Hafid, A., McIntosh, G., van Hinsbergen, D.J.J. & Torsvik, T.H. (2011) A new 200 Ma palaeomagnetic pole for Africa, and paleo-secular variation scatter from Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) intrusives in Morocco (Ighrem and Fom Zgid dykes). *Geophys. J. Int.* 185, 1220-1234.
- Pavón-Carrasco, F.J., Rodríguez-González, J., Osete, M.L., Torta J.M. (2011) A matlab tool for archaeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science* 38(2), 408-419.
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M. (2010) Regional modeling of the geomagnetic field in Europe from 6000 to 1000 B.C. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11 Q11008 (doi:10.1029/2010GC003197).
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta J.M., Gaya-Piqué, L.R. (2009) A regional archaeomagnetic model for Europe for the last 3000 years, SCHA.DIF.3K: applications to archaeomagnetic dating. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 10 Q03013 (doi:10.1029/2008GC002244).
- Portillo, A., Herraiz, M., Radicella, S.M., Ciraolo, L. (2008) Equatorial plasma bubbles studied using African slant Total Electron Content observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70, 907-917.
- Rodríguez, J.T., Vitoriano, B., Montero, J. (2012) A general methodology for inductive fuzzy-rules building and its application to natural disaster management. *Computers and operations research* 39, 853-873.
- Ruiz-Martínez, V.C., Urrutia-Fucugauchi, J., Osete, M.L. (2010) Paleomagnetism of the Western and Central Sectors of the Trans-Mexican Volcanic Belt. Implications for tectonic rotations and paleosecular variation in the Past 11 Ma. *Geophysical Journal International* 180, 577-595.
- Samsonov, S., Beavan, J., González, P.J., Tiampo, K., Fernández, J. (2011) Ground deformation in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand observed by ALOS PALSAR interferometry. *Geophysical Journal International* 187 (doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05129.x).
- Sánchez-Cano, B., Herraiz, M., Rodríguez Caderot, G., Radicella, S.M. (2010) Study of the ionosphere of Mars: application and limitations of the Chapman-layer model. In: *Highlights of Spanish Astrophysics, Proceedings of the IX Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society*, M.R. Zapatero Osorio et al. (eds.).
- Tiampo, K.F., Ouegnin, F.A., Valluri, S., Samsonov, S., Fernández, J. (2011) An elliptical model for deformation due to groundwater fluctuations. *Pure and Applied Geophysics*, 169/10 (doi:10.1007/s00024-011-0402-3).
- Tizzani, P., Manconi, A., Zeni, G., Pepe, A., Manzo, M., Camacho, A.G., Fernández, J. (2010) Long-term vs. short-term deformation processes at Tenerife volcano (Canary Islands). *Journal of Geophysical Research* 115, B12412 (doi:10.1029/2010JB007735).
- Van Aalsburg, J., Rundle, J.B., Grant, L.B., Rundle, P.B., Yakovlev, G., Turcotte, D.L., Donnellan, A., Tiampo, K.F., Fernandez, J. (2010) Space- and time- dependent probabilities for earthquake fault systems from numerical simulations: Feasibility study and first results. *Pure and Applied Geophysics* 167(8-9), 967-977.

Geoquímica y Evolución Tectonotermal de la Tierra

C. Casquet^{1,2}, J. Abati^{1,2}, R. Arenas^{1,2}, J.M. Cebriá³ y C. Villaseca^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. casquet@geo.ucm.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

Esta sublínea la integran cuatro grupos cuyas investigaciones se centran en los procesos internos de la Tierra cuya expresión es la formación y evolución de la litosfera continental y oceánica (aspecto geoquímico). Estos procesos tienen lugar en los márgenes de las placas tectónicas y en su interior (intraplaca) y son en última instancia el resultado de la disipación del calor mediante procesos químicos s.l.: metamorfismo y magmatismo. En el largo plazo estos procesos conducen a la formación de la corteza continental, principalmente mediante la orogénesis. La orogénesis es un proceso geoquímicamente abierto en los que se destruye (mediante subducción) y se forma (mediante magmatismo procedente del manto) la corteza continental. Los orógenos conforman la estructura de la corteza continental. Las litosferas oceánicas son –en general– efímeras. Desaparecen por subducción y se reciclan en la astenosfera o en zonas más profundas de La Tierra. En resumen: esta sublínea se centra en procesos geoquímicos s.l., metamorfismo y magmatismo y en la orogénesis como formadora de continentes.

Objetivos generales

- a) Magmatismo: geoquímica de los magmas, fuentes del magmatismo (corteza y manto), evolución magmática y datación (t). Bordes de placa e intraplaca. Relaciones con la tectónica.
- b) Orogénesis y evolución de la corteza continental. Orogénesis globales y ciclos de supercontinentes.
- c) Evolución tectonotermal (P, T, tiempo y deformación) en las zonas internas (profundas) de los orógenos (metamorfismo regional) y sus implicaciones geodinámicas y geoquímicas.

A continuación se describen sucintamente los cuatro grupos que trabajan en esta sublínea y sus objetivos concretos.

Formación y destrucción de supercontinentes: de Rodinia a Gondwana. El caso ejemplar de Sur América

C. Casquet^{1,2}, C. Galindo^{1,2} y C.W. Rapela³

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. casquet@geo.ucm.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). La Plata, Argentina.

El grupo de investigación PAMPRE investiga desde 1993 en el centro del continente Suramericano. La investigación realizada hasta ahora abarca en el tiempo desde la formación del supercontinente Rodinia en el Mesoproterozoico (1.3-0.9 Ga), mediante la orogénesis Grenville, y su ulterior desmembramiento en el Neoproterozoico, hasta la formación del supercontinente Gondwana, en el Paleozoico Inferior (530 a 440 Ma), con el que se inicia la formación del borde pre-andino del continente.

En la actualidad el grupo ha extendido la investigación al magmatismo paleozoico que incluye provincias magmáticas de Ordovícica, devónica y carbonífera, por su importancia para comprender la evolución geoquímica de la corteza continental.

El continente suramericano contiene un registro muy completo de la tectónica de placas proterozoica y paleozoica. El trabajo del grupo PAMPRE se focaliza en las Sierras Pampeanas, la Precordillera Argentina y los Andes Centrales, desde Perú hasta la Patagonia argentina. También es objeto de investigación el cratón del Río de la Plata (2.2 Ga), en particular su papel en el amalgamamiento de Gondwana y su relación con los demás cratones africanos y suramericanos durante la orogénesis Panafricana-Brasiliana, y recientemente el basamento de la península de Mejillones (Chile).

Toda esta región, por su importancia para testar modelos de evolución litosférica y de formación de la corteza continental, es objeto de investigación por grupos de muy diferentes países y motivo en la actualidad de un importante debate científico que se traduce en múltiples congresos y un elevado número de publicaciones.

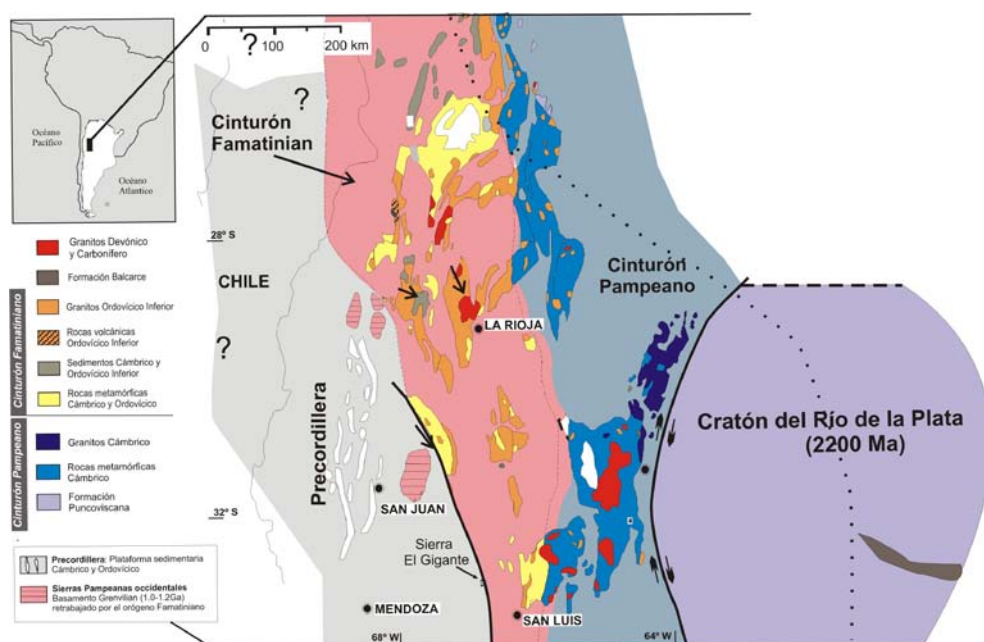


Figura 1. Yuxtaposición del ámbito geológico de las Sierras Pampeanas al cratón del Río de la Plata (2.05-2.2 Ga) en el Cámbrico Medio a Superior después de la orogénesis Pampeana (545 - 520 Ma). Límites esquemáticos de los cinturones orogénicos Pampeano y Famatiniano (480-435 Ma). Se indican además los afloramientos proterozoicos de edad "Grenville" s.l. (1.3 - 1.0 Ga) de las Sierras Pampeanas occidentales. Línea punteada: transición hipotética entre los niveles más someros y los más profundos de la plataforma continental cámbrica (Inferior-Medio) que cubrió todo el ámbito geológico de las Sierras Pampeanas.

El equipo tiene dos investigadores del IGEO (César Casquet y Carmen Galindo) así como otro director responsable (Carlos W. Rapela, CONICET, La Plata, Argentina). Es un equipo internacional en el que participan investigadores españoles, argentinos, un británico y un australiano. En la actualidad el grupo ha iniciado colaboración con grupos chilenos (U. de Santiago) y brasileños (U. de Sao Paulo) para precisar las correlaciones a escala continental. La investigación del PAMPRE se ha desarrollado en el marco de 16 proyectos competitivos, tanto de carácter nacional, como internacional (Argentina) y Comunidad Económica Europea. El grupo PAMPRE es multidisciplinar e incluye estudiantes pre y post-doctorales. La investigación que se realiza incluye: estudios de campo, petrología ígnea y metamórfica, geoquímica convencional e isotópica (estables y radiogénicos), geocronología U-Pb, Lu-Hf, Rb-Sr, Sm-Nd, Ar-Ar y K-Ar, mediante espectrometría de masas en TIMS y NGMS (UCM, Universidad Nal. de Mexico) y acceso a grandes instalaciones científicas (SHRIMP, Canberra, Australia) y LA-ICP-S (Universidad de São Paulo, Brasil).

El basamento de Europa Occidental

R. Arenas^{1,2}, J. Abati^{1,2}, J. Fernández Suárez^{1,2}, P. Andonaegui², P. Castiñeiras², S. Sánchez Martínez², J.M. Fuenlabrada², A. López Carmona² y R. Albert²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. arenas@geo.ucm.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

El basamento de Europa central y occidental tiene un origen común y define la denominada Cadena Varisca, el gran orógeno generado durante el episodio último y principal del ensamblado del supercontinente Pangea. Este episodio tuvo lugar entre el Devónico medio y el Carbonífero superior y estuvo motivado por la colisión de dos grandes masas continentales: Laurussia al norte y Gondwana al sur. La colisión no fue simple, ya que también se vieron involucrados algunos terrenos menores separados de Gondwana durante el Paleozoico inferior, y supuso el cierre de un dominio oceánico principal, el Océano Rheico, y quizás algún otro menor.

Nuestro grupo estudia la evolución tectonotermal de todos estos terrenos, que aparecen ahora como dominios autóctonos, parautoctonos o alóctonos de la Cadena Varisca, así como la geocronología de los conjuntos litológicos principales, la geoquímica de las rocas ígneas pre-orogénicas y la edad y procedencia de las series sedimentarias más significativas, casi siempre de naturaleza azoica y edades pre-ordovícicas. Todos estos datos vienen siendo utilizados para desarrollar modelos paleogeográficos que muestran la evolución de las placas principales entre el Paleozoico más inferior y el Carbonífero. Además del basamento de Europa Occidental, este grupo también realiza investigaciones en otras áreas mediante proyectos financiados, especialmente en el Anti-Atlas del sur de Marruecos en colaboración con investigadores de la Universidad de El Jadida.

Nuestro grupo de investigación está constituido por tres investigadores pertenecientes al IGEO (Ricardo Arenas, Jacobo Abati y Javier Fernández Suárez) y otros 6 investigadores pertenecientes a la UCM (Pilar Andonaegui, Pedro Castiñeiras, Sonia Sánchez Martínez, José Manuel Fuenlabrada, Alicia López Carmona y Richard Albert). Además, mantenemos una amplia colaboración con científicos de otras universidades españolas y del IGME, así como con otros investigadores de numerosas instituciones de Europa, Norteamérica y África. Hemos desarrollado 7 proyectos consecutivos del Plan Nacional y en la actualidad desarrollamos el Proyecto CONSOLIDER CGL2007-65338-CO2-01, que tiene una duración de 5 años y se encuentra finalizando su 4º año de actuación.

Volcanismo de intraplaca. Petrogénesis e implicaciones geodinámicas

J.M. Cebriá¹, J. López Ruiz¹ y C. Martín Escorza²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. cebria@mncn.csic.es

²Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

Los magmas producidos por procesos volcánicos recientes y activos constituyen uno de los principales medios para elucidar la composición química y mineralógica de las zonas de generación de magmas de origen mantélico. La modelización cuantitativa precisa de los procesos que dan lugar a la generación de magmas por fusión parcial y su posterior diferenciación como consecuencia de procesos de cristalización y/o mezcla (s.l.), mediante la utilización de elementos mayores y traza, e isótopos radiogénicos y estables constituye la base de nuestra aproximación. Esta investigación incide en uno de los debates más importantes en la actualidad en el campo del magmatismo: litosfera *versus* astenosfera y participación de plumas mantélicas. Tradicionalmente el grupo ha investigado en regiones volcánicas plio-Cuaternarias peninsulares (e.g. Olot, Calatrava, SE España) y oceánicas (Canarias). En la actualidad estamos desarrollando proyectos de investigación sobre la actividad monogenética del Campo Volcánico de Michoacán-Guanajato (Cinturón Volcánico Transmexicano), en colaboración con el Instituto de Geología de la UNAM.

Nuestro grupo de investigación está constituido por 2 investigadores pertenecientes al IGEO (José María Cebriá y José López Ruiz) y otro perteneciente al MNCN del CSIC (Carlos Martín Escorza). Se colabora con otros investigadores del Instituto de Geología de la UNAM de México (Dante Morán Zenteno, Bárbara Martiny y Laura Luna González). Hemos desarrollado varios proyectos consecutivos del Plan Nacional y en la actualidad desarrollamos el Proyecto CGL2008, que tiene una duración de tres años y se encuentra en su fase final.

Magmatismo y mineralizaciones en la Zona Centro-Ibérica Varisca

C. Villaseca^{1,2}, J.A. López-García³, D. Orejana², C. Pérez-Soba², E. Vindel³, E. Chicharro³ y E. Merino²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. granito@geo.ucm.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

El grupo se ha centrado en el estudio geoquímico y geocronología U-Pb del magmatismo Varisco de la zona central de España (Sistema Central Español y Montes de Toledo), tanto en los abundantes plutones graníticos como en los macizos de gabbros coetáneos.

Asimismo, se ha trabajado en el quimismo de las diversas series metamórficas aflorantes (metasedimentarias y meta-ígneas) y en los xenolitos de la corteza inferior, para discutir problemas de fuentes magmáticas. Esto ha conducido a conocer la geoquímica de una sección litosférica completa (corteza-manto) en el centro de España, desde los tiempos post-orogénicos Variscos hasta el inicio de la apertura Atlántica (es decir el período Carbonífero-Jurásico inferior), durante más de un centenar de millones de años de eventos magmáticos (325-200 Ma). Otro objetivo importante del grupo es la geoquímica de fluidos mineralizadores en cúpulas graníticas (mineralizaciones de metales raros del tipo: Sn, W, P, U, Nb, Ta).

Nuestro grupo de investigación está constituido por 1 investigador perteneciente al IGEO (Carlos Villaseca), cinco investigadores pertenecientes a la UCM (José Antonio López-García, David Orejana, Cecilia Pérez-Soba y Elena Vindel) y 2 becarios FPU (Eva Chicharro y Enrique Merino). Además, mantenemos una amplia colaboración con científicos del IGME así como con investigadores de Europa y Australia. De hecho, la micro-analítica de U-Pb en circones se ha realizado por SHRIMP en Canberra, por LA-ICPMS en Sydney ó por LA-ICPMS en Oslo (en ambos laboratorios se ha realizado, además, la química de isótopos de Hf). Hemos desarrollado 6 proyectos consecutivos del Plan Nacional y en la actualidad desarrollamos el Proyecto CGL2008-05952-CO2-01, que tiene una duración de 3 años y se encuentra finalizando, así como una concesión puente para el proyecto CGL2011-23560 para la anualidad de 2012.

Referencias

- Abati, J., Gerdes, A., Fernández-Suarez, J., Arenas, R., Whitehouse, M.J., Díez Fernández, R. (2010) Magmatism and early-Variscan continental subduction in the northern Gondwana margin recorded in zircons from the basal units of Galicia, NW Spain. *Geological Society of America Bulletin* 122, 219-235.
- Abati, J., Aghzler, A.M., Gerdes, A., Ennih, N. (2010) Detrital zircon ages of Neoproterozoic sequences of the Moroccan Anti-Atlas belt. *Precambrian Research* 181, 115-128.

- Alasino, P.H., Dahlquist, J.A., Galindo, C., Casquet, C., Saavedra, J. (2010) Andalusite and Na- and Li-rich cordierite in the La Costa pluton. Sierras Pampeanas, Argentina: textural and chemical evidence for a magmatic origin. *International Journal of Earth Sciences* 99, 1051-1065.
- Alcock, J., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R. (2011) One and two-dimensional models are equally effective in monitoring the crust's thermal response to advection by large-scale thrusting during orogenesis. *Computers & Geosciences* 37, 1205-1207.
- Casquet, C., Fanning, C.M., Galindo, C., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Torres, P. (2010) The Arequipa Massif of Peru: New SHRIMP and isotope constraints on a Paleoproterozoic inlier in the Grenvillian orogen. *Journal of South American Earth Sciences* 29, 128-142.
- Castiñeiras, P., Díaz García, F., Gómez Barreiro, J. (2010) REE-assisted U-Pb zircon age (SHRIMP) of an anatectic granodiorite: Constraints on the evolution of the A Silva granodiorite, Iberian allochthonous complexes. *Lithos* 116, 153-166.
- Cebriá, J.M., Martín-Escorza, C., López-Ruiz, J., Morán Centeno, D.J., Martiny, B.M. (2011) Numerical recognition of alignments in monogenetic volcanic areas: Examples from the Michoacán-Guanajato Volcanic field in Mexico and Calatrava in Spain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201, 73-82.
- Cebriá, J.M., Martiny, B.M., López-Ruiz, J., Morán Centeno, D.J. (2011) The Parícutin calk-alkaline lavas: New geochemical and petrogenetic modelling constraints on the crustal assimilation process. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201, 113-125.
- Dahlquist, J.A., Alasino, P.H., Eby, G.N., Galindo, C., Casquet, C. (2010) Fault controlled Carboniferous A-type magmatism in the proto-Andean foreland (Sierras Pampeanas, Argentina): Geochemical constraints and petrogenesis. *Lithos* 115, 65-81.
- Díaz García, F., Sánchez Martínez, S., Castiñeiras, P., Fuenlabrada, J.M., Arenas, R. (2010) A peri-Gondwanan arc in NW Iberia. II: Assessment of the intra-arc tectonothermal evolution through U-Pb SHRIMP dating of mafic dykes. *Gondwana Research* 17, 352-362.
- Díez Fernández, R., Martínez Catalán, J.R., Gerdes, A., Abati, J., Arenas, R., Fernández-Suárez, J. (2010) U-Pb ages of detrital zircons from the Basal allochthonous units of NW Iberia: Provenance and paleoposition on the northern margin of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Gondwana Research* 18, 385-399.
- Díez Fernández, R., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Abati, J. (2011) Tectonic evolution of a continental subduction-exhumation channel: Variscan structure of the basal allochthonous units in NW Spain. *Tectonics* 30 (doi:10.1029/2010TC002850).
- Díez Fernández, R., Martínez Catalán, J.R., Gómez Barreiro, J., Arenas, R. (2011). Extensional flow during gravitational collapse: a tool for setting plate convergence (Padrón migmatitic dome, Variscan Belt, NW Iberia). *Journal of Geology* (en prensa).
- Díez Fernández, R., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Abati, J. (2011) The onset of the Pangaea's assembly: constraints on the kinematics of continental subduction. *Gondwana Research* (en prensa).
- Fernández Suárez, J., Gutiérrez-Alonso, G., Johnston, S.T., Jeffries, T.E., Pastor-Galán, D., Jenner, G.A., Murphy, J.B. (2011) Iberian late-Variscan granitoids: Some considerations on crustal sources and the significance of "mantle extraction ages". *Lithos* 123, 121-132.
- Fuenlabrada, J.M., Arenas, R., Sánchez Martínez, S., Díaz García, F., Castiñeiras, P. (2010) A peri-Gondwanan arc in NW Iberia. I: Isotopic and geochemical constraints on the origin of the arc - A sedimentary approach. *Gondwana Research* 17, 338-351.
- Gómez Barreiro, J., Martínez Catalán, J.R., Prior, D., Wenk, H.-R., Vogel, S., Díaz García, F., Arenas, R., Sánchez Martínez, S., Lonardelli, I. (2010) Fabric development in a Middle Devonian Intraoceanic subduction regime: the Careón Ophiolite (NW Spain). *Journal of Geology* 118, 163-186.

- Gómez Barreiro, J., Martínez Catalán, J.R., Díez Fernández, R., Arenas, R., Díaz García, F. (2010) Upper crust reworking during gravitational collapse: the Bembibre - Pico Sacro detachment system (NW Iberia). *Journal of the Geological Society*, London 167, 769-784.
- Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J.B., Fernández-Suárez, J., Weil, A.B., Franco, M.P., Gonzalo, J.C. (2011) Lithospheric delamination in the core of Pangea: Sm-Nd insights from the Iberian mantle. *Geology* 39, 155-158.
- López Carmona, A., Abati, J., Reche, J. (2010) Petrologic modeling of chloritoid-glaucophane schists from the NW Iberian Massif. *Gondwana Research* 17, 377-391.
- Murra, J.A., Baldo, E.G., Galindo, C., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Dahlquist, J. (2011) Sr, C and O isotope composition of marbles from the Sierra de Ancasti, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: age and constraints for the Neoproterozoic-Lower Paleozoic evolution of the proto-Gondwana margin. *Geologica Acta* 9(1), 79-92.
- Orejana, D., Villaseca, C., Armstrong, R., Jeffries, T.E. (2011) Geochronology and trace element chemistry of zircon and garnet from granulite xenoliths: constraints on the tectonothermal evolution of the lower crust under central Spain. *Lithos* 124, 103-116.
- Orejana, D., Merino, E., Villaseca, C., Pérez-Soba, C., Cuesta, A. (2011) Electron microprobe monazite geochronology of granitic intrusions from the Montes de Toledo Batholith (central Spain). *Geological Journal* (doi:10.1002/gj.1331).
- Pérez-Soba, C., Villaseca, C. (2010) Petrogenesis of highly fractionated I-type peraluminous granites: La Pedriza pluton (Spanish Central System). *Geologica Acta* 8, 131-149.
- Rapela, C. W., Fanning, C.M., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Spalletti, L., Poiré, D. & Baldo, E.G. (2011) The Rio de la Plata craton and the adjoining Pan-African/Brasiliano terranes: their origins and incorporation into south-west Gondwana. *Gondwana Research* 20, 673-690.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Galindo, C., Fanning, C.M., Dahlquist, J.M. (2010) The Western Sierras Pampeanas: protracted Grenville-age history (1330-1030 Ma) of intra-oceanic arcs, subduction-accretion at a continental-edge and AMGC intraplate magmatism. *Journal of South American Earth Sciences* 29, 105-127.
- Sánchez Martínez, S., Arenas, R., Gerdes, A., Castiñeiras, P., Potrel, A., Fernández-Suárez, J. (2010) Isotope geochemistry and revised geochronology of the Purrido Ophiolite (Cabo Ortegal Complex, NW Iberian Massif): Devonian magmatism with mixed sources and involved Mesoproterozoic basement. *Journal of the Geological Society*, London 168, 733-750.
- Sánchez Martínez, S., Gerdes, A., Arenas, R., Abati, J. (2011) The Bazar Ophiolite of NW Iberia: A relic of the Iapetus - Tornquist Ocean in the Variscan suture. *Terra Nova* (en prensa).
- Verdecchia, S.O., Casquet, C., Baldo, E., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M., Galindo, C. (2011) Mid- to Late Cambrian docking of the Rio de la Plata craton to southwestern Gondwana: ages constraints from U-Pb SHRIMP detrital zircon ages from Sierras de Ambato and Velasco (Sierras Pampeanas, Argentina). *Journal of the Geological Society*, London 168, 1061-1071.
- Villaseca, C., Belousova, E., Orejana, D., Castiñeiras, P., Pérez-Soba, C. (2011) Presence of Palaeoproterozoic and Archean components in the granulite-facies rocks of central Iberia: The Hf isotopic evidence. *Precambrian Research* 187, 143-154.
- Villaseca, C., Orejana, D., Belousova, E., Armstrong, R.A., Pérez-Soba, C., Jeffries, T.E. (2011) U-Pb isotopic ages and Hf isotope composition of zircons in Variscan gabbros from central Spain: evidence of variable crustal contamination. *Mineralogy and Petrology* 101, 151-167.

Sublínea Terremotos y Volcanes

A. Aparicio Yagüe¹, A. Beltrán Díez¹, F. Brogi¹, V.M.E. Buforn Peiró^{2,3}, L.A. García Cacho¹, M. García Fernández¹, A. García García¹, J. Jenni¹, M.J. Jiménez Santos¹ y R. Ortiz Ramis¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. mgarcia@mncn.csic.es

²Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias, 1. 28040 Madrid, España.

³Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

La sublínea “Terremotos y Volcanes” se centra en el conocimiento del origen y los efectos de los terremotos y de las fuentes e impactos de los procesos volcánicos. Desarrolla su actividad de investigación a través de tres grupos de trabajo que abordan temas de sismicidad, sismotectónica, volcanismo activo y peligrosidad e ingeniería sísmica, fundamentalmente en el área Europeo-Mediterránea y Latinoamérica. Además, incluye un componente importante en temas de asesoría, educación y divulgación.

Introducción

El potencial de generación de desastres en regiones desarrolladas, debidos a la ocurrencia de fenómenos naturales, ha aumentado significativamente en las últimas décadas como consecuencia del crecimiento rápido de la densidad de población y de la concentración de núcleos urbanos, industriales y financieros. Las evidencias de un cambio climático global modifican sustancialmente la visión actual acerca del impacto y las consecuencias de riesgos naturales no meteorológicos, como los asociados a terremotos y volcanes.

La sublínea “Terremotos y Volcanes” busca avanzar en el conocimiento del origen y los efectos de los terremotos y los procesos volcánicos, utilizando enfoques multidisciplinarios para mejorar las evaluaciones de peligrosidad y riesgo y los métodos de pronóstico, en el marco del Cambio Global y los procesos multi-riesgo; con interés especial en Europa y el Mediterráneo y Latinoamérica.

Los objetivos de la sublínea pueden resumirse en a) Avances sobre el origen y efectos de los terremotos en relación con los estudios de peligrosidad y riesgo, desarrollando modelos físicos completos del fenómeno sísmico y b) Análisis de la actividad volcánica, modelización física de procesos eruptivos e implementación de métodos de pronóstico para mitigación del riesgo volcánico. Estos objetivos se desarrollan a partir de tres grupos de trabajo, Sismicidad y Sismotectónica (sede F. CC Físicas, UCM), Volcanismo Activo (sede MNCN-CSIC) y Peligrosidad e Ingeniería Sísmica (sede MNCN-CSIC).

El número de miembros de la sublínea es relativamente reducido, pero resulta un conjunto complementario que aborda la modelización física completa tanto del fenómeno volcánico, incluyendo el desarrollo de instrumentación específica, como del sísmico, desde la fuente a los efectos de terremotos.

Grupo de Sismicidad y Sismotectónica

V.M.E. Bufoñ Peiró^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias, 1. 28040 Madrid, España. ebufoñp@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

El grupo de Sismicidad y Sismotectónica desarrolla su actividad en el estudio de la fuente sísmica, mecanismo focal y modelos sismotectónicos, especialmente en la región Azores-Gibraltar e Ibero-Magreb, y en el análisis de la sismicidad regional, tanto histórica como instrumental (Figura 1).

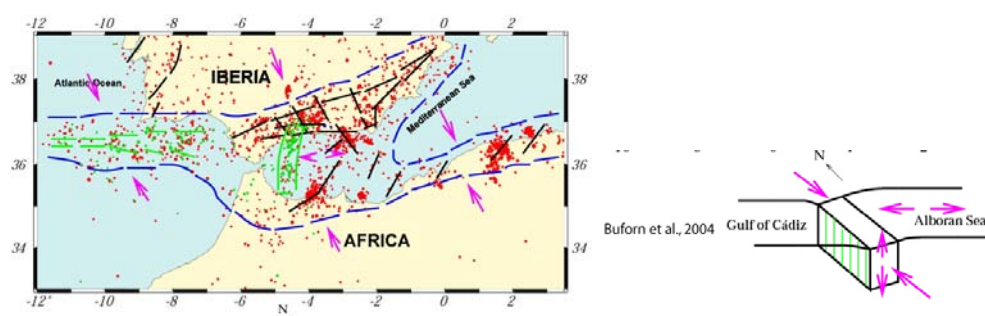


Figura 1. Ejemplo de análisis sismotectónico del grupo Sismicidad y Sismotectónica.

Los proyectos más recientes del grupo son: Reunión del Grupo de Trabajo Ibero-Magrebí (UCM, AE-F1/10-17232), Sistema de Alerta Sísmica Temprana: Aplicación al Sur de España (ALERT-ES) CGL 2010-19803-C03-01 del MICINN, y Grupos de Investigación Sismicidad, Sismotectónica y Riesgo Sísmico (910399), UCM-CM GR35/10-A.

Referencias

- Bensaid, I., Cherkaoui, T., Medina, F., Caldeira, B., Bufoñ, E., Emran, A., Hahou, Y. (2011) The 1992 Tafilalet seismic crisis (Anti-Atlas, Morocco). *J. Seism.* 15 (doi:10.1007/s10950-011-9248-5).
- Bufoñ, E., Pro C., Udías, A. (2010) Problemas resueltos de Geofísica. Pearson Ed., Madrid.
- Bufoñ, E., Udías, A. (2010) Azores-Tunisia, a tectonically complex plate boundary. *Advances in Geophysics* 52(3), 139-182.
- Bufoñ, E., Pro, C., Cesca, S., Udías, A., del Fresno, C. (2011) The 2010 Granada, Spain, Deep Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.* 101(5), 2418-2430.
- Mattesini, M., Belonoshko, A.B., Bufoñ, E., Ramirez, M., Simak, S. Udías, S, Mao, H., Ahuja, R. (2010) Hemispherical anisotropic patterns of the Earth's inner core. *PNAS*, 107, 9507-9512.
- Perez-Peña, A., Martín Dávila, J., Gárate, J., Berrocoso, M., Bufoñ, E. (2010) Velocity field and tectonic strain in Southern Spain and surrounding areas derived from GPS episodic measurements. *J. Geodynamics* 49, 232-240.
- Peyrat, S., Madariaga, R., Bufoñ, E., Campos, J., Asch, G., Vilotte, J.P. (2010) Kinematic rupture process of the 2007 Tocopilla earthquake and its main aftershocks from teleseismic and strong-motion. *Geophys. J. Int.* 182, 1411-1430.

Grupo de Volcanismo Activo

A. Aparicio Yagüe¹, L.A. García Cacho¹, A. García García¹ y R. Ortiz Ramis¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. mcny144@mncn.csic.es

El grupo de Volcanismo Activo centra sus actividades en temas de peligrosidad y riesgo volcánico; incluyendo el seguimiento, evaluación y pronóstico de procesos eruptivos, sismicidad volcánica y desarrollo de instrumentación específica para la vigilancia volcánica. Los proyectos más recientes se desarrollan en Canarias y Centroamérica:

- Investigación Volcanológica en Tenerife (VOLRESTE; CGL2008-03874). Resumen: Análisis continuo de series temporales del sistema volcánico de Tenerife, obtenidas con instrumentación específica del CSIC y desarrollo de técnicas nuevas de seguimiento para su posible implementación en redes nacionales (Figura 2).

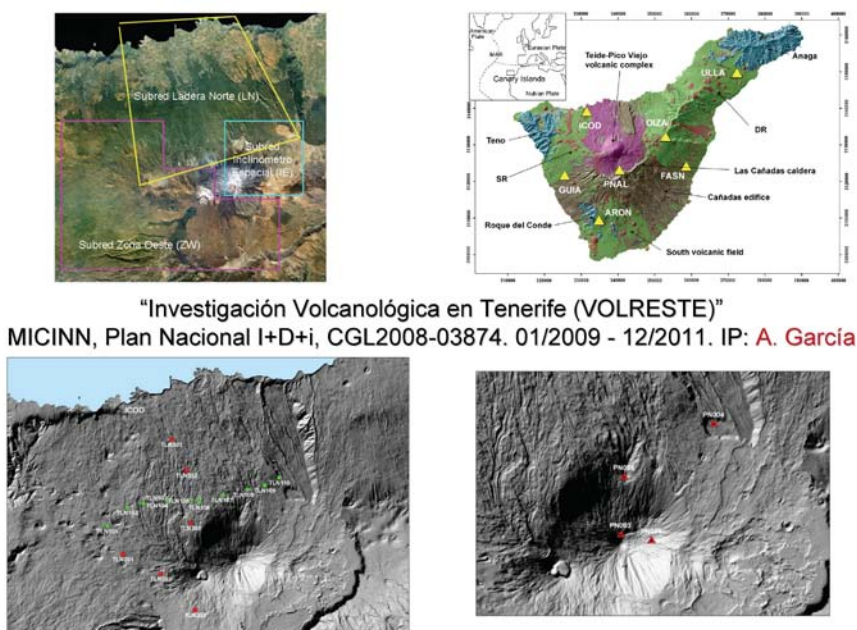


Figura 2. Ejemplo de las investigaciones geodinámicas desarrolladas en el proyecto VOLRESTE.

Implementación de metodología desarrollada en España en el sistema de vigilancia volcánica de Nicaragua (ACI-PROMOCIONA-2008-0778). 03/2009 - 03/2012. IP: A. García. Resumen: Sistema automático de vigilancia volcánica en volcanes seleccionados de Nicaragua en colaboración con INETER e integración en los sistemas de valoración del riesgo volcánico (Figura 3).



Figura 3. Zona de estudio y volcanes seleccionados en el proyecto ACI-PROMOCIONA-2008-0778.

- “CRODINAS—CROss-Disciplinary knowledge transfer for improved Natural hazard ASsessment”. Marie Curie Actions - (IRSES) 230826
- “Peligro Volcánico y Evaluación del Riesgo en Tenerife (PEVERTE). (Nuevas perspectivas en la identificación de los patrones de precursores de erupciones volcánicas y su integración en las herramientas para la gestión del riesgo volcánico)”, MICINN, Plan Nacional I+D+i, CGL2011-28682-C02-01. 01/2012 - 12/2014. IP: A. García.

El grupo de Volcanismo Activo realiza también actividades de asesoría científica por parte del CSIC para otros organismos e instituciones (Figura 4).

“Investigación Volcanológica en Canarias y Asesoría Científica al IGN”
CSIC Proyectos Intramurales, 2008-2010, 2011-2013

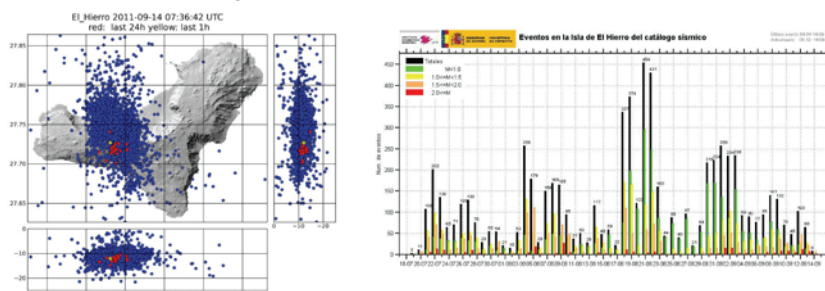


Figura 4. Asesoría científica al IGN sobre la actividad volcánica en Canarias (Ej. Actividad sísmica actual en la isla de El Hierro, Canarias).

Grupo de Peligrosidad e Ingeniería Sísmica

A. Beltrán Díez¹, F. Brogi¹, M. García Fernández¹, J. Jenni¹, M.J. Jiménez Santos¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Museo Nacional de Ciencias Naturales. C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. albabeltran@mncn.csic.es

El grupo de Peligrosidad e Ingeniería Sísmica trabaja en temas de modelización de la peligrosidad y riesgo sísmicos, y específicamente en el desarrollo de modelos físicos completos de la generación de terremotos y de sus efectos principales, incluyendo efectos directos (vibración del terreno) e indirectos (licuefacción, deslizamientos, tsunamis), y considerando diferentes escalas; desde los aspectos regionales y sub-regionales (Figura 5), que permiten su aplicación en normativas sismorresistentes y planificación del territorio; hasta los efectos locales (Figura 6), de interés para la caracterización de emplazamientos y el diseño de estructuras.

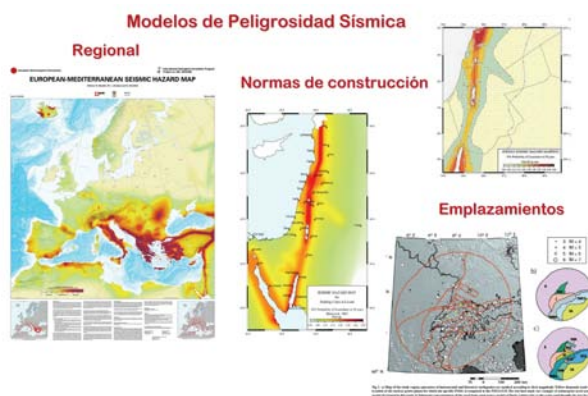


Figura 5. Modelos de peligrosidad a diferentes escalas para diversas aplicaciones (Ej. Área Europeo-Mediterránea, Oriente Próximo, Jordania, centrales nucleares suizas).

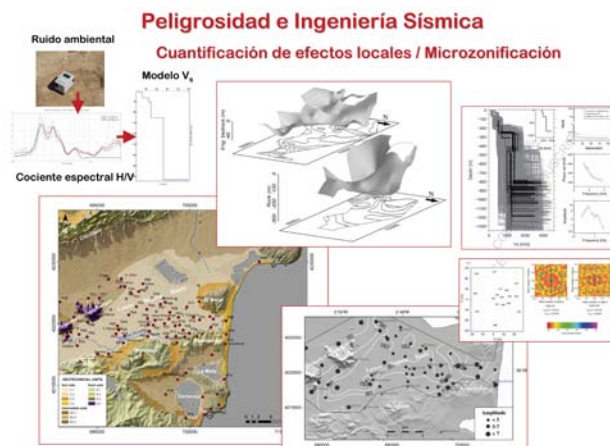


Figura 6. Caracterización de la estructura local para cuantificar efectos de sitio (Ej. La Vega Baja, Alicante).

Este grupo dedica parte de sus actividades a temas de asesoría, educación y divulgación (Figura 7).



Figura 7. Ejemplos de actividades de asesoría, educación y divulgación.

En los aspectos de asesoría, existe una estrecha colaboración con el programa RELEMR (Reducing Earthquake Losses in the Extended Mediterranean Region) de UNESCO y USGS; y se ha colaborado, entre otros, con en el programa MERC (Middle East Regional Cooperation Program) de USAID, la RSS de Jordania, o FUNDACYT de Ecuador, en la elaboración de modelos de peligrosidad para las normas de construcción sismorresistente regionales y nacionales; así como en el proyecto RISKCAT del CADS-Generalitat de Catalunya, o en el programa PEGASOS, de reevaluación de las centrales nucleares suizas.

La actividades de educación y divulgación han dado lugar, entre otros, al sitio Web <http://www.websismo.csic.es/>, sobre terremotos, y al libro "Terremotos" de la colección Divulgación del CSIC-Catarata: En este último han participado con sendos capítulos diversos miembros de los tres grupos de trabajo, lo que representa una de las primeras contribuciones conjuntas de la sublínea.

Entre los proyectos más recientes del grupo están:

- "Identificación de efectos de sitio en los registros de intensidad sísmica en Iberia". MICINN-Acciones Complementarias, CGL2010-11831-E (BTE). "Comisión de Seguimiento del Mapa de Peligrosidad Sísmica de España", Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento
- "Maps of recorded Maximum Seismic Intensity in Iberia from 1300 to 2009 and site effects. Implications for seismic hazard and risk assessment in Iberia". CSIC / FCT (Portugal). Proyectos conjuntos 2009PT0053.
- "Mitigation of Seismic Risk through Integrated Scenarios of Crustal Deformation, Earthquake Hazard, Earthquake Damage and Losses, and Real Time Ground-Shaking Effects at Regional and Urban Scales (MARSH)". MEC, Plan Nacional de I+D+i, CGL2007-62454/BTE.

- "Contribution to the Euro-Mediterranean archive of historical macroseismic data". INGV-Milano, Italia
- "Methodology and cost-effective application of site effect evaluation for developing realistic seismic hazard scenarios". MEC - Integrated Actions Spain-Germany, HA2006-0040.
- "Seismicity and Earthquake Engineering in the Extended Mediterranean Region. A Joint Meeting of RELEMR (Reduction of Earthquake Losses in the Extended Mediterranean Region) and the UNESCO Ibero-Maghreb Initiative". UNESCO
- "Capacity Building for Earthquake Risk Mitigation in the Ibero-Maghreb Region". MEC, Acciones Complementarias Internacionales A8, PCI2006-A8-0700.
- "First Conference on Building Earthquake Resilience in the Southern Mediterranean Region". MEC Acciones Complementarias, CGL2007-29877-E/BTE.
- "Preparation of Seismic Hazard Maps of the Near East for National Building Codes". UNESCO.
-

Referencias

- Rosa-Cintas, S., Galiana-Merino, J.J., Molina-Palacios, S., Rosa-Herranz, J., García-Fernández, M., Jiménez, M.J. (2011) Soil characterization in urban areas of the Bajo Segura Basin (Southeast Spain) using H/V, F-K and ESAC methods. *Journal of Applied Geophysics* 75, 543-557.
- Gorshkov, A.I., Soloviev, A.A., Jiménez, M.J., García-Fernández, M., Panza, G.F. (2010) Recognition of earthquake-prone areas ($M > 5.0$) in the Iberian Peninsula. *Rendiconti Lincei - Scienze Fisiche e Naturali* 21, 18-46.
- Wiemer, St., García-Fernández, M., Burg, J.P. (2009) Development of a seismic source model for probabilistic seismic hazard assessment of nuclear power plant sites in Switzerland: The view from PEGASOS expert group 4 (EG1d), *Swiss J. Geosci.* 102, 189-209.
- Jiménez, M.J., García-Fernández, M., Romero, J. (2009) 1989-1995 earthquake sequences in the Galeras volcano region, SW Colombia, and possible volcano-earthquake interactions. *Tectonophysics* 463, 47-59.
- Jiménez, M.J., Al-Nimry, H., Khasawneh, A., Al-Hadid, T., Kahhaleh, K. (2008) Seismic Hazard assessment for Jordan and neighbouring areas. *Bull. Geof. Teor. Appl.* 49, 17-36.
- Musson, R., Jiménez, M.J., Gómez-Capera, A.A. (2008) Macroseismic estimation of earthquake parameters. British Geological Survey Open Report, OR/08/004, 55 pp.
- Vilaplana, J.M., Copons, R., Guillén, J., Jiménez, M.J., García-Fernández, M., de Ribot, E., Martí, J. (2008) RISKCAT Els riscos naturals a Catalunya, Informes CADS 6, Generalitat de Catalunya. 227 pp. + CD.

Línea de Investigación Evaluación del Sistema Tierra y Variabilidad Climática

Sublíneas:

Análisis de Cuencas, Paleoambiente y
Paleogeografía Global

Episodios Críticos en la Historia de la Tierra

Paleoclimatología y Cambio Global

Análisis de Cuencas, Paleoambientes y Paleogeografía Global

A.M. Alonso-Zarza^{1,2}, A. Arche¹, C. Arias¹, J. Arribas^{1,2}, M.I. Benito^{1,3}, I. Coronado-Vila^{1,4}, P. Cózar-Maldonado¹, R. de la Horra^{1,3}, D. Díaz-Canseco^{1,3}, M.J. Escudero-Mozo¹, D. García-Bellido¹, J.C. Gutiérrez-Marco¹, J. López-Gómez¹, J. Martín-Chivelet^{1,3}, R. Martín-García¹, A. Martín-Pérez², J.R. Mas^{1,3}, M.N. Meléndez^{1,3}, S. Omodeo², E. Quijada^{1,3}, S. Rodríguez^{1,4}, J.P. Rodríguez-López^{1,3}, A. Rodríguez-Berriguete², S. Sacristán^{1,2} y P. Suárez-González^{1,3}, M.B. Muñoz-García^{1,3}, A.B. Galán-Abellán¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. alonsoza@geo.ucm.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Esta línea de trabajo se centra en el estudio de las rocas sedimentarias desde una escala que incluye la microestratigrafía a otra que abarca la paleogeografía global. Su finalidad es la caracterización de las cuencas sedimentarias y sus recursos en espacio y tiempo; es decir, en diferentes continentes y en una escala de tiempo que abarca a todo el Fanerozoico. La obtención de dichos objetivos requiere una aproximación global al análisis de cuencas mediante técnicas que se complementan unas a otras y que necesitan, por lo tanto, de un grupo científico de tipo multidisciplinar. Así, la base de estudio requiere de técnicas como el análisis de la arquitectura estratigráfica con métodos biocronológicos y radiométricos asociados, análisis del balance sedimentario, diagénesis y procedencia de sedimentos, análisis paleoclimático basado en diferentes proxies que incluyen los sedimentarios, fósiles y depósitos de cuevas, análisis de las variaciones del nivel del mar y su repercusión en la paleogeografía y comunidades biológicas, modelización 3-D de la geometría de las cuencas y reconocimiento de los diferentes episodios sedimentarios, y asesoría en temas relacionados con enterramiento de gases de efecto invernadero y la protección de zonas de interés natural.

Paleozoico Marino Perigondwánico

P. Cózar-Maldonado¹, D. García-Bellido¹, J.C. Gutiérrez-Marco¹, S. Rodríguez^{1,2} e I. Coronado-Vila^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. pcozar@geo.ucm.es

²Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

El Grupo del IGEO sobre Paleozoico Marino nace del Grupo de Investigación Consolidado CAM-UCM nº 910231 (Precámbrico y Paleozoico Perigondwánico) y cuenta con tres miembros estables del IGEO (uno UCM y dos CSIC), un investigador contratado CSIC del Programa RyC, y un becario predoctoral UCM. Su financiación actual corre esencialmente a cargo de tres proyectos del Programa Nacional de Biodiversidad, Ciencias de la Tierra y Cambio Global (2010-2012), dos de ellos del Ministerio de Ciencia e Innovación (refs. CGL2009-07073 BTE, dirigido por D. García-Bellido; CGL2009-10340BTE, dirigido por P. Cózar), y uno del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (RPN 052/2009, dirigido por J.C. Gutiérrez-Marco), que gestionan 207.000 euros en total.

Asimismo, los investigadores integrantes participan en diversos proyectos patrocinados por el Servicio Geológico de Canadá, el Servicio Geológico de Alabama, el ARC de Australia, el CONICET argentino, el INGEMMET peruano, la ANR francesa y la Universidad de Zaragoza; y también colaboran formando parte de comisiones y grupos internacionales de Geología (ICS-IUGS, IGCP-IUGS, IPA), consejos editoriales de revistas científicas, e intervienen (ad honorem) en diversas organizaciones extranjeras. Entre los miembros ajenos al IGEO que participan en los proyectos mencionados, aparte de los de las instituciones ya citadas, intervienen investigadores de las universidades de León, Valencia, Alcalá de Henares, Trás-os-Montes, Dublín, Lille, Toulouse, Estrasburgo, Lyon, Colonia, San Luis, Armindale, el Servicio Geológico de Adelaida y el Instituto Geológico y Minero de España. Pese a su reducido tamaño (4 doctores), la producción del grupo en estos últimos cinco años (07-06 a 07-11: excluyendo congresos) contabiliza 47 artículos en revistas SCI (*Nature, Geology, Bulletin of the Geological Society, Geologica Acta, Proceedings of the Royal Society, Palaeontology, Lethaia, Palaeo3*, etc.), 40 artículos en publicaciones no indexadas (revistas y libros) y 6 libros, con investigaciones llevadas a cabo en Europa (España, Portugal, Francia, Gran Bretaña, Irlanda), América (EEUU, Canadá, Argentina, Colombia, Perú), África (Marruecos) y Australia. En el mismo quinquenio dirigieron y presentaron 3 tesis doctorales, y algunos de los resultados de investigación del grupo adquirieron notable eco en la prensa escrita y noticiarios de TV (trilobites gigantes portugueses más huellas ordovícicas del Parque Nacional de Cabañeros en 2009, paleovalles del Hirnantense cantábrico en 2010, ojo cámbrico australiano en 2011).

Los planteamientos científicos del Grupo de Paleozoico Marino persiguen el estudio de diversas cuencas perigondwánicas desde finales del Neoproterozoico (Ediacárico) hasta los inicios del Pensilvaniense (Carbonífero "superior"); es decir, entre la configuración inicial del paleocontinente Gondwana hasta que tiene lugar la colisión de éste con Laurasia. Dado que para estos tiempos pre-Pangea la reconstrucción paleogeográfica y la evolución histórica es harto dificultosa, especialmente en el área involucrada en el Orógeno Varisco, los objetivos se centran en una extensa investigación estratigráfica y paleontológica clásica para grupos fósiles muy concretos, aquellos que brindan los rasgos paleobiogeográficos clave y favorecen una correlación paleoambiental y bioestratigráfica de alta resolución en distintas escalas territoriales.

Los mismos datos sirven también como factor de contrastación para las paleogeografías fundadas en modelos estructurales complementados por técnicas instrumentales (paleomagnetismo, dataciones isotópicas o análisis de procedencia), y permiten reconocer detalles de la dinámica faunística y evolutiva a nivel global en los mares paleozoicos (migraciones, radiaciones o extinciones biológicas). Las aplicaciones derivadas son muy diversas y van desde la datación biocronológica de eventos geológicos y escalas cronoestratigráficas, la propuesta o refutación tanto de reconstrucciones paleogeográficas como de modelos estructurales, o la exploración de hidrocarburos y sustancias estratoligadas. En este sentido, en el reciente Simposio Internacional sobre el Sistema Ordovícico organizado por el grupo en Madrid (mayo de 2011), 5 compañías petroleras y mineras internacionales brindaron 9.000 euros en subvenciones, a cambio de facilitarles opiniones sobre la fiabilidad de la información estratigráfica, ya publicada, sobre distintas cuencas paleozoicas perigondwánicas, que tal vez generen futuros contratos de colaboración con alguna de ellas.

La mejora en el conocimiento básico de las sucesiones marinas paleozoicas alrededor de Gondwana constituye, pues, el planteamiento científico principal del grupo de trabajo, que a nivel operativo divide sus objetivos entre los estudios orientados al Paleozoico Inferior y los relacionados con el Paleozoico Superior.

El Subgrupo del Paleozoico Inferior analiza diversos aspectos del margen gondwánico para distintos periodos. En el Cámbrico, se trabaja exitosamente en artrópodos no trilobites y otros organismos de cuerpo blando del Cámbrico inferior y medio, que incluyen los célebres *Konservat-Lagerstätten* de tipo “Burgess” y “Orsten” en Burgess Shale (Canadá) y Chengjiang (China) (Vanier et al 2009), así como Emu Bay Shale (Australia) (Lee et al 2011), además de estudios sobre los SSF (small shelly fossils), poríferos y fósiles de pared orgánica en las Zonas Cantábrica, Ossa Morena y Cordillera Ibérica. Con ellos se trata de establecer correlaciones y aproximarse a las condiciones paleoecológicas, tafonómicas y evolutivas vinculadas con el desarrollo de los metazoos primitivos y grupos de moneras y protistas. Las investigaciones en el Ordovícico, se centran principalmente en la caracterización estratigráfica de sucesiones de este periodo nuevas a poco estudiadas, así como en la taxonomía de distintos grupos de invertebrados (graptolitos, trilobites, braquiópodos, equinodermos, moluscos, conodontos, grupos de cuerpo blando) e icnofósiles, presentes en áreas mal conocidas de Sudamérica (Perú, Colombia, Venezuela, sectores de Argentina y Bolivia), norte de África (Marruecos, Libia), Europa (Iberia, Bohemia, Bulgaria, norte de Anatolia) y Asia (Afganistán).

Como intereses concretos destaca el de desarrollar “controles de paso” a las migraciones perigondwánicas del Ordovícico Inferior y Medio entre Sudamérica y Europa-África, estudiar los aspectos paleobiogeográficos de la deriva de Avalonia, el impacto de la crisis climática hirnantiense en ambientes peripolares (Gutiérrez-Marco et al 2010), que indujo la segunda de las grandes extinciones globales, el desarrollo de una escala cronoestratigráfica regional ibero-bohémica de aplicación en los márgenes gondwánicos de paleolatitudes elevadas, y la profundización en el conocimiento de algunas biotas singulares, como Zagora, Tafilalet, Arouca o Cabañeros (Gutiérrez-Marco et al 2009). Finalmente y en el Silúrico, los estudios se circunscriben al nivel ibérico, con investigaciones biocronológicas y de los eventos de radiación/extinción globales mediante graptolitos, la revisión de sucesiones mal conocidas (parautóctono de Galicia-Trás-os-Montes, dominio del Olla de Sapo, área de los Pedroches y Pirineos), así como en la signatura paleobiogeográfica general que expresan las sucesiones peninsulares en su contexto gondwánico.

Los estudios en curso en el Paleozoico Inferior peninsular revisten también aspectos dedicados específicamente a temas relacionados con la Geodiversidad y el Patrimonio Geológico, como los centrados en el Parque Nacional de Cabañeros, o los Lugares de Interés Geológico del Ordovícico y Silúrico de Galicia, Castilla y León, Castilla-La Mancha y Andalucía, en parte encuadrados en los proyectos *Global Geosites* y *Global Geoparks* de la IUGS-UNESCO, bajo la coordinación nacional del IGME o el Geoparque Arouca de Portugal. El Subgrupo de Paleozoico Superior estudia los cambios climáticos que se produjeron en el Devónico y Carbonífero, además de analizar su influjo determinante en la biodiversidad marina en torno a Gondwana y el Paleotethys. La línea principal de trabajo se centra en los pisos Viseense, Serpukhoviense y límite con el Bashkiriense en España (Cózar et al 2006) (Sierra Morena, Extremadura, Cordillera Cantábrica, Pirineos), Marruecos (Cózar et al 2008) (Meseta Central y Sahara), Francia, Irlanda, Gran Bretaña (Stephenson et al 2010), Canadá (Rocasas) y Estados Unidos (Alabama).

A escala global, el calentamiento climático del planeta en el Viseense, y la transgresión marina generalizada subsecuente al mismo, favorecieron un incremento notable en la biodiversidad, que sin embargo se paraliza y revierte a lo largo del Serpukhoviense, de tendencia regresiva y culminante en una glaciación, en la que se verifica una reducción drástica de los ambientes someros y de la biodiversidad marina general. Las variaciones climáticas y de diversidad orgánica se investigan por parte del grupo con referencia a foraminíferos, algas, corales y conodontos, que introducen relaciones problemáticas (con intervención de paleocorrientes, paleotemperaturas y barreras geográficas) a la paleogeografía vigente entre el cratón estable de Gondwana y ciertas áreas ibéricas, que podrían ubicarse en paleolatitudes más bajas que las supuestas hasta el momento. Como campo de estudio complementario se investigan también los corales devónicos, en este caso como contribución al estudio del máximo arrecifal evidenciado en dicho periodo para la historia del planeta, con criterios taxonómicos, paleoclimáticos y bioestratigráficos de detalle, y estudios circunscritos a la Península Ibérica (Pirineos, Sistema Ibérico, Cordillera Cantábrica y Sierra Morena).

Reconocimiento en el registro sedimentario de las alteraciones mineralógicas, geoquímicas y bióticas durante la crisis, y posterior recuperación, de la transición Permo-Triásica en el E de la Península Ibérica

J. López-Gómez¹, J.F. Barrenechea^{1,2}, A. Arche¹, R. de la Horra^{1,3}, B. Galán-Abellán^{1,3}, M.J. Escudero-Mozo¹, J. Luque^{1,2}, J. Alonso-Azcárate⁴ y C. Diéguez⁵

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. jlopez@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Química Física, Facultad Ciencias del Medio Ambiente, Universidad Castilla-La Mancha. C/Cardenal Lorenzana 1, 45071 Toledo, España.

⁵Dpto. Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

El tránsito entre el Pérmico y el Triásico supuso en todo el planeta una etapa de crisis medioambiental y biótica que llevó a la desaparición del 93% de las especies de fauna y flora, en continentes y océanos; es decir, la mayor extinción conocida. Aunque hay diferentes hipótesis para justificar dichas alteraciones y extinción masiva, parece que las grandes erupciones volcánicas ligadas al comienzo de fracturación de Pangea provocaron un encadenamiento destructivo de procesos físico-químicos que llevaron a dicha crisis.

El presente equipo investigador está desarrollando en los últimos 10 años un enfoque multidisciplinar que le permita determinar las causas físico-químicas que provocaron la citada alteración medioambiental, declive en la vida y la prolongación en el tiempo de esas condiciones adversas. Este equipo está constituido por científicos de cinco universidades españolas y del CSIC. Estos trabajos se están realizando en la Cordillera Ibérica y Costero Catalana en coordinación con otros equipos del oeste de Europa con los que se intenta hacer estudios comparativos con las secciones de estas últimas áreas.

Los mayores problemas para abordar esta investigación están relacionados con la escasez de fósiles que permitan establecer una edad precisa y las importantes lagunas existentes en el registro sedimentario. Estos problemas son comunes a escala planetaria, pero especialmente en rocas de origen continental, como es el caso de las cuencas estudiadas.

El enfoque multidisciplinar del grupo abarca una serie de análisis de laboratorio basados en material obtenido en campañas de campo. Entre estas técnicas destacan la Difracción de Rayos X, Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) (Benito et al 2005), Microsonda Electrónica (EMPA), Geoquímica de roca total (ICP-OES, ICP-MS), Paleomagnetismo, estudio de Tierras Raras y de diferentes relaciones isotópicas. Así, se han determinado por primera vez en los sedimentos continentales de esta etapa las tendencias de relaciones isotópicas de S, Sr, U/Pb, Rb/Sr, variaciones de tendencias climáticas y de fases mineralógicas ligadas a las de pH y Eh (de la Horra et al 2008), y la relación de estos resultados con la desaparición y presencia de diferentes grupos de fauna y flora.

Evolución tecto-sedimentaria de la Cuenca de Cameros (Titoniense-Albiense inf.): Implicaciones paleogeográficas y paleoclimáticas

J.R. Mas^{1,2}, M.I. Benito^{1,2}, J. Arribas^{1,3}, A. Alonso-Millán⁴, M.E. Arribas³, K.C. Lohmann⁵, S. Lugli⁶, E. Le Pera⁷, L. González-Acebrón², I.E. Quijada¹, M. Rodas^{1,8}, P. Suárez-González^{1,3}, S. Omodeo³ y S. Sacristán^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. ramonmas@geo.ucm.es

²Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

⁴Facultad de Ciencias, Universidad A Coruña, España.

⁵Dept. Geological Sciences. Universidad de Michigan, USA.

⁶Dept. Science della Terra. Univ. Modena, Italia.

⁷Dept. Earth Ssci. Fac. Mathematics. Univ. Calabria, Italia.

⁸Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

La cuenca de Cameros, localizada en el NO de la Cordillera Ibérica, es una de las cuencas que constituyen la Cuenca Ibérica y se desarrolló durante el segundo ciclo del rifting ibérico (Oxfordiense Sup.-Albiense). Su registro sedimentario se encuentra estructurado en ocho secuencias deposicionales (SD 1 a SD 8), generalmente constituidas por depósitos siliciclásticos interpretados tradicionalmente como fluviales que evolucionan lateralmente y hacia el techo a carbonatos lacustres que presentan evidencias de esporádicas incursiones marinas. La Cuenca de Cameros tiene varias características que la hacen ser única en el ámbito de la Cordillera Ibérica como: a) el gran espesor de sedimentos, hasta más de 9000 m, que se acumularon desde el Titoniense al Albiense inferior, b) la gran abundancia de icnitas de dinosaurios que presentan sus depósitos, sobre todo el Grupo Oncala, SD 3 de edad Berriasiense y el Grupo Enciso, SD 7, de edad Barremiense-Aptiense, c) el metamorfismo de bajo a muy bajo grado que afectó a parte de sus depósitos e interpretado como hidrotermal.

Durante los últimos 25 años se ha podido adquirir una gran información sobre la estratigrafía, sedimentología y diagénesis de estos depósitos, así como de la evolución tectónica de la cuenca (Arribas et al 2008, Benito y Mas 2006). En la actualidad se están desarrollando dos líneas de investigación principales:

a) reconstrucción de la arquitectura y geometría estratigráfica, análisis de la subsidencia y de la evolución tectosedimentaria y térmica de la cuenca que se está llevando a cabo a partir de la cartografía y de todos los datos sedimentológicos, petrológicos, geoquímicos y termométricos disponibles en la bibliografía, obtenidos en el campo y a partir de líneas sísmicas y de sondeos. Mediante programas informáticos específicos se están realizando varios cortes compensados y la modelización 3D de la cuenca que será imprescindible para entender los posibles sistemas petrolíferos potenciales en el área.

b) estudio sedimentológico, paleogeográfico y paleoclimático detallado de varias de las unidades de la cuenca, tanto siliciclásticas como carbonáticas. En esta línea se incluye el análisis del registro sedimentario durante las primeras etapas del desarrollo de la cuenca, así como de las unidades que contienen mayor cantidad de icnitas de dinosaurios, cuyo estudio está poniendo de manifiesto que la influencia marina en varias de estas unidades fue más allá de esporádicas incursiones marinas, lo que conlleva importantes consecuencias desde el punto de vista paleogeográfico y paleoclimático, ya que habría que revisar y modificar la posición de las paleolíneas de costa al menos para parte del Cretácico Inferior y las reconstrucciones paleoclimáticas llevadas a cabo para esta edad en la cuenca Ibérica.

La cuenca Neuquina (Andes, Argentina) durante el Jurásico Superior

J. López-Gómez¹, J. Martín-Chivelet^{1,2}, R. Palma³ y D. Kietzmann³

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. jlopez@geo.ucm.es

²Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). Universidad de Buenos Aires, Argentina.

La Cuenca Neuquina es mesozoica y de tipo back-arc. Se localiza en el oeste de Argentina y tiene unos 1000 km de longitud de N a S. Su parte norte constituyó una subcuenca dentro de la anterior desde su inicio, en el Pérmico. Se trata de una subcuenca que estuvo marcada por una importante actividad tectónica y vulcanismo durante gran parte del Mesozoico, asociado al proceso de subducción cortical bajo la placa sudamericana. Durante el Jurásico Superior, esta actividad quedó marcada por una importante variedad de sistemas sedimentarios que se sucedieron de forma abrupta en el tiempo. Un aspecto importante de esta etapa fue la conexión con el "proto-pacífico", que supuso una reorganización a escala de placa, con cambios de fauna importantes, variaciones de climas y de sistemas sedimentarios y una tectónica activa que tuvo asociadas puntualmente fases importantes de terremotos (por ejemplo, López-Gómez et al 2009, Martín-Chivelet et al 2011a).

Nuestro grupo investigador, constituido por científicos de la UCM y del CSIC, y de la Universidad de Buenos Aires y CONICET, lleva trabajando en las diferentes unidades del Jurásico Superior desde 2005, realizando diferentes campañas de campo y posteriores análisis en gabinete y laboratorio.

Los resultados obtenidos de esta investigación han permitido determinar paleogeográficamente la cuenca y sus sistemas deposicionales durante una evolución de más de 10 ma, desde el Oxfordiense hasta el Titiense.

En este periodo de tiempo se han diferenciado también variaciones de climas, ciclos dentro de secuencias de Milankovitch mediante análisis espectrales, fases de vulcanismo y profundidad de sus cámaras, procesos de karstificación a escala de cuenca y regresiones forzadas en las plataformas carbonáticas. Como objetivo en etapas próximas, se pretende buscar una mayor precisión en las dataciones de las unidades mediante criterios paleontológicos y radiométricos, determinar niveles de correlación a escala de cuenca que permitan conocer mejor la evolución de la misma y la posible conexión con otras áreas fuera de ella, y relacionar los diferentes cinturones de climas diferenciados con otros mayores a escala de placa y la relación con los vientos implicados.

Controles alocíclicos en el Cretácico de la Cuenca Ibérica: Paleogeografía, paleoclima y modelización de almacenes

M.N. Meléndez^{1,2} y J.P. Rodríguez-López^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. nievesml@geo.ucm.es

²Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Durante el Cretácico la cuenca Ibérica experimentó diferentes episodios de evolución dentro de un sistema de tipo rift. Esta etapa estuvo controlada por una serie de factores alocíclicos que condicionaron la evolución de dicha cuenca y determinaron las principales características de su registro sedimentario.

Estos aspectos están siendo abordados en los últimos años de forma multidisciplinar por nuestro equipo investigador constituido por científicos de: el IGEO, la UCM, el Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), la Universidad de Zaragoza y la Universidad de Utrecht (Holanda). Dentro de este marco tecto-sedimentario, los estudios realizados en los materiales de edad Albiense, han permitido reconocer por primera vez el desarrollo de un sistema desértico de tipo erg y las direcciones de paleovientos principales. Esta información permite precisar la paleogeografía conocida hasta el momento para esta etapa en el margen occidental del Tethys y situar la paleo-posición de las distintas franjas climáticas. El sistema desértico muestra una zonación espacial característica, (a) *back-erg*: el sector proximal del erg, próximo al Macizo Ibérico caracterizado por la interacción entre sistemas fluviales efímeros y procesos eólicos (Rodríguez-López et al 2010); (b) *central-erg*: la parte central del sistema desértico arenoso y constituye una de las principales áreas de acumulación eólica (Rodríguez-López et al 2008). (c) *fore-erg*: el área distal del erg caracterizado por la interacción entre el sistema desértico arenoso y el Tethys donde los sedimentos eólicos fueron re TRABAJADOS en ambientes sedimentarios costeros restringidos (Rodríguez-López et al 2011).

La identificación de este sistema deposicional nos ha permitido comenzar a abordar la modelización de los posibles almacenes sedimentarios desarrollados en este contexto de la cuenca y de valorar la potencial de los mismos. Se trata, por lo tanto, de una línea de trabajo que presenta la aplicación de la investigación básica a la cooperación con la industria del gas y del petróleo.

Análisis estratigráfico, sedimentológico y paleoambiental de la cuenca sedimentaria del Prebético oriental durante el Cretácico

C. Arias¹, L. Vilas² y J. Martín-Chivelet^{1,2}

¹ Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. arias@geo.ucm.es

² Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Como consecuencia de las investigaciones básicas llevadas a cabo en los 10 últimos años con la ayuda de proyectos de investigación concedidos por el Ministerio de Educación y Ciencia, se ha realizado un estudio exhaustivo de los materiales de edad cretácica del Prebético oriental (Sur de Albacete, Norte de Murcia, el Sur de Valencia y el Norte de Alicante), en base a la estratigrafía detallada, análisis secuencial, evolución ambiental y eventos geológicos concretos (Vilas et al 2009). Con todo ello se ha elaborado finalmente el modelo estratigráfico/sedimentario de las diferentes unidades tectosedimentarias de la región del Altiplano de Jumilla-Yecla (por ejemplo, Martín-Chivelet y Chacón 2007, Chacón y Martín-Chivelet 2008).

En la actualidad el equipo trabaja en la detección e interpretación de los registros de los eventos anóxicos en el Cretácico Inferior mediante el análisis de isótopos estables, materia orgánica, etc. Así mismo se establecen las relaciones de los registros de estos procesos entre las zonas someras y profundas de las plataformas carbonáticas en este lapso de tiempo. Este trabajo se está realizando dentro de un proyecto conjunto con el equipo del Departamento de Geología de la Universidad de Jaén, subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

Paralelamente, y como consecuencia de la importancia de la aparición de icnitas de *Hipparion*, *Paracamelus*, *Tragoportax*, osos, tigres etc. en niveles de yesos del Messiniense (Mioceno superior 5,6 ma aprox.), tanto por su situación como por su edad y tipo de materiales en que se encuentran, únicos en Europa, se está estudiando igualmente dicha cuenca con la finalidad de realizar la reconstrucción paleogeográfica para esta edad en la zona.

De forma simultánea, se tiene en cuenta el uso no destructivo del patrimonio geológico de la región y su vertiente divulgativa, con la ayuda de los respectivos Ayuntamientos y la Comunidad de Murcia, lo que ha dado lugar a la organización de "field trips" de dos congresos internacionales (Arias et al 2010) y a la colaboración en la creación del Museo municipal de Jumilla (con una planta entera dedicada a la Geología), aportando paneles explicativos y colecciones. Últimamente se ha concluido el inventario del Patrimonio Geológico del Altiplano de Jumilla-Yecla por encargo del IGME y en el que han intervenido un total de 16 autores coordinados por nuestro equipo. En él, se han establecido seis LIGS compuestos (Lugares de Interés Geológico) de la región, y otras actuaciones. También se está realizando la cartografía geológica a escala 1/10.000 del Parque Natural Regional de la Sierra del Carche, situado en el citado Altiplano.

El registro paleoambiental de los carbonatos continentales y sus aplicaciones en la conservación del Patrimonio Geológico

A.M. Alonso-Zarza^{1,2}, M.A. Bustillo³, J. Genise⁴, M.J. Herrero⁴, R. Martín-García¹, A. Martín-Pérez², A. Meléndez⁵, J.L. Pérez-Jiménez⁶ y A. Rodríguez-Berriguete²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. alonsoza@geo.ucm.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

⁴CONICET, División Icnología, Museo Argentino de Ciencias Naturales. C/Ángel Gallardo 470, 1405 Buenos Aires, Argentina.

⁵Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad Zaragoza. C/Pedro Cerbuna s/n, 50009 Zaragoza, España.

⁶REPSOL Centro Tecnológico de Repsol. 28931 Móstoles, Madrid, España.

Nuestra línea de trabajo es transversal, pues no se centra en una cuenca o en un periodo geológico determinado. Sino que, el objetivo es extraer la máxima información paleoclimática, paleoecológica y paleogeográfica de los carbonatos formados en distintos ambientes continentales: lagos, suelos, ríos, surgencias, cuevas, etc. En la Península Ibérica se trabaja en las cuencas Terciarias de Madrid y de Teruel, en las cuevas de Castañar de Ibor (Cáceres) y Lantz (Navarra). En Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura en el estudio de los paleosuelos carbonáticos y en edificios tobáceos y travertínicos, todos ellos cuaternarios.

Fuera de nuestro país trabajamos en China, Argentina, Uruguay y Eslovenia. Las aportaciones y resultados más relevantes se centran en:

1) La obtención de modelos paleogeográficos en los que se forman los carbonatos lacustres, palustres y calcretas. Por ejemplo, en el trabajo llevado a cabo en la cuenca de Tianshui, China, proponemos que sus depósitos son de origen aluvio-lacustre y no eólico (Alonso-Zarza et al 2009). Este hecho tiene gran importancia para interpretar cuándo se produjo el levantamiento del Himalaya y el consiguiente efecto de sombra para generar los desiertos fríos del norte de China.

2) El estudio de los paleosuelos carbonáticos, terciarios y cuaternarios, y las trazas fósiles que contienen nos ha permitido establecer su modelo de formación, que conlleva la participación de organismos como insectos y plantas. Por tanto, estos carbonatos son archivos paleoecológicos y climáticos imprescindibles (Alonso-Zarza et al 2008).

3) Por último, en el análisis de los procesos diagenéticos que operan en ambiente meteórico y cómo estos procesos pueden modificar las señales geoquímicas que se utilizan, para datar y/o como indicadores paleoclimáticos. El trabajo realizado en la Cueva de Castañar indica que muchos espeleotemas sufren numerosos procesos diagenéticos (inversión, cementación, etc...), que cambian su textura y sus señales geoquímicas (isótopos estables, elementos traza) (Alonso-Zarza et al 2011, Martín-García et al 2009). Además, a la hora de datar mediante U/Th, se ha de tener en cuenta que U6 es más soluble y se lava, lo más lavado (transformado, debido a los procesos mencionados) queda enriquecido en Th (insoluble), obteniéndose una edad mucho más antigua que la real. Los procesos mencionados también condicionan la belleza y la conservación de los espeleotemas. Las investigaciones realizadas se han utilizado para diseñar el posible régimen de visitas a la Cueva y se han hecho accesibles al público en el Centro de Interpretación de la Cueva.

Estudios paleoclimáticos y paleoambientales en cuevas kársticas

J. Martín-Chivelet^{1,2}, M.B. Muñoz-García^{1,2}, A. Garralón³, P. Gómez³, M.J. Turrero³, A.I. Ortega⁴, R.L. Edwards⁵, H. Cheng³, J.I. Santisteban² y R. Mediavilla⁶

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. j.m.chivelet@geo.ucm.es

²Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Centro de Investigaciones Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid, España.

⁴Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca s/n, 09002 Burgos, España.

⁵Universidad de Minnesota, USA.

⁶Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, España.

En la urgente tarea de entender el cambio climático actual, resulta esencial profundizar en el conocimiento de las variaciones climáticas del pasado, sus causas y sus efectos. En esta labor, las cuevas y sus espeleotemas presentan un enorme potencial, al permitir la obtención de registros paleoclimáticos y paleoambientales “multi-proxy”, datados con métodos radiométricos y estratigráficos altamente resolutivos. Para ello es fundamental la integración pluridisciplinar de esfuerzos, tanto dirigidos al análisis de los espeleotemas como a la caracterización de los sistemas kársticos en los cuales se han generado.

En este marco interdisciplinar se enmarca nuestra línea de trabajo, que viene desarrollándose desde el año 2001, y en la que participan, personal del IGEO (CSIC-UCM), la Universidad Complutense de Madrid, el Centro de Investigaciones Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Universidad de Minnesota. A lo largo de su trayectoria ha contado con la financiación de 4 proyectos nacionales, 2 internacionales y varios autonómicos.

La investigación está enfocada a la reconstrucción paleoclimática de alta resolución basada en depósitos kársticos, fundamentalmente espeleotemas. Se ha centrado en cuevas del norte de Castilla y León, con escasa influencia marítima y diversas condiciones climáticas locales (Martín-Chivelet et al 2006). Estas cuevas (y los depósitos que en ellas se han generado) han sido sensibles a los cambios climáticos del norte peninsular y del área noratlántica durante el Cuaternario reciente. Los intervalos temporales considerados incluyen esencialmente: (1) El último milenio, (2) el resto del Holoceno, (3) otros periodos cálidos del Pleistoceno, así como episodios de cambio climático abrupto.

En el marco de la investigación se llevan a cabo tres tareas fundamentales: (1) Monitorización hidrogeoquímica y ambiental “in situ”, en continuo y de largo término de cuevas kársticas seleccionadas por su potencial para el estudio paleoclimático, (2) Análisis de los espeleotemas que se están generando actualmente en las cuevas, con un seguimiento estacional de los mismos, y con énfasis en los parámetros de interés paleoambiental y paleoclimático (tasa de crecimiento, mineralogía, fábrica, geoquímica elemental e isotópica), (3) Estudio estratigráfico, petrológico, geocronológico y geoquímico de espeleotemas antiguos, enfocado a la construcción de series temporales de alta resolución. Esas tareas son complementarias y su integración permite la obtención de series paleoclimáticas “multi-proxy” de alta resolución (Martín-Chivelet et al 2011b).

Las dos primeras, centradas en la caracterización de los parámetros actuales, permiten establecer funciones de transferencia para la calibración de los “proxies” y la obtención de estimaciones cuantitativas de los parámetros climáticos y su variabilidad en el pasado. La obtención e interpretación de estas series paleoclimáticas de alta resolución es el objetivo primordial del grupo. Paralelamente una parte del equipo trabaja en la obtención de series paleoclimáticas a partir de registros lacustres de las mismas áreas que las cuevas, con la finalidad de tener patrones de comparación en los patrones climáticos y ambientales. Asimismo el grupo colabora, en el marco de estudio de las cuevas, en proyectos de Geoarqueología y Arqueología, Protección del Patrimonio Natural y Cultural, Petrofísica y Paleomagnetismo. Por último, cabe señalar que, en la actualidad se están iniciando nuevas líneas de trabajo en el SE de España y en Argentina.

Referencias

- Alonso-Zarza, A.M., Genise, J.F., Cabrera, M.C., Mangas, J., Martín-Pérez, A., Valdeolmillos, A., Dorado-Valiño, M. (2008) Megarhizoliths in Pleistocene aeolian deposits from Gran Canaria (Spain): Ichnological and palaeoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 265, 39-51.
- Alonso-Zarza, A.M., Martín Pérez, A., Martín García, R., Gil Peña, I., Meléndez Hevia, A., Martínez Flores, E. Hellstrom, J., Muñoz Barco, P. (2011) Structural and host rock controls on the distribution, morphology and mineralogy of speleothems in the Castañar Cave (Spain). *Geological Magazine* 148, 211-225.
- Alonso-Zarza, A.M., Zhao, Z., Song, C.H., Li, J.J., Zhang, L., Martín-Pérez, A., Martín-García, R., Wang, X.X., Zang, Y., Zhang, M.H. (2009) Mudflat/distal fan shallow lake sedimentation (upper Vallesian-Turolian) in the Tianshui Basin, Central China: Evidence against the late Miocene eolian loess. *Sedimentary Geology* 222, 42-51.
- Aretz, M., Herbig, H.G., Somerville, I.D., Cózar, P. (2010) Rugose coral biostromes in the late Viséan (Mississippian) of NW Ireland: Bioevents on an extensive carbonate platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 292, 488-506.
- Arias, C., Bellido, F., Díaz, E., Herrero, C., Herrero, E., Vilas, L. (2010) Geositios de la Región de Murcia. The European Association for the Conservation of the Geological Heritage, *ProGEO*. Field Trip Guide Book, 1-30.
- Arribas, J., Alonso, A., Mas, R., Tortosa, A., Rodas, M., Barrenechea J.F., Alonso-Azcárate, J., Artigas, R. (2003) Sandstone Petrography of Continental Depositional Sequences of an intraplate Rift Basin: Western Cameros Basin (North Spain). *Journal of Sedimentary Research* 73, 309-327.
- Benito, M., De la Horra, R., Barrenechea, J.F., López-Gómez, J., Rodas, M., Alonso-Azcárate, J., Arche, A., Luque, J. (2005) Mineralogical characteristics and paleoenvironmental significance during the Permian-Triassic transition in the SE Iberian Ranges, Eastern Spain. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 229, 24-39.
- Benito, M.I., Mas, R., (2006) Sedimentary evolution of the Early Kimmeridgian Torrecilla Reef Complex in response to tectonically forced regression. *Sed. Geology* 183, 31-49.
- Chacón, B., Martín-Chivelet, J. (2008) Stratigraphy of Palaeocene phosphate pelagic stromatolites (Prebetic Zone, SE Spain). *Facies* 54, 361-376 (on line).
- Cózar, P., Somerville, I.D., Rodríguez, S., Mas, R., Medina-Varea, P. (2006) Development of a late Viséan (Mississippian) mixed carbonate/siliciclastic platform in the Guadalmellato Valley (Southwestern Spain). *Sedimentary Geology* 183, 269-295.
- Cózar, P., Vachard, D., Somerville, I.D., Berkli, M., Medina-Varea, P., Rodríguez, S., Said, I. (2008) Late Viséan Serpukhovian foraminiferans and calcareous algae from the Adarouch region (central Morocco), North Africa. *Geological Journal* 43, 463-485.
- De la Horra, R., Benito, M., López-Gómez, J., Arche, A., Barrenechea, J.F., Luque, J. (2008) Palaeoenvironmental significance of Late Permian paleosols in the SE Iberian Ranges, Spain. *Sedimentology* 55, 1849-1873.

- Gutiérrez-Marco, J.C., Ghienne, J.F., Bernárdez, E., Hacar, M.P. (2010) Did the Late Ordovician African ice sheet reach Europe? *Geology* 38(3), 279-282.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Sá, A.A., García-Bellido, D.C., Rábano, I., Valerio, M. (2009) Giant trilobites and trilobite clusters from the Ordovician of Portugal. *Geol.* 37(5) 443-446.
- Lee, M.S.Y., Jago, J.B., García-Bellido, D.C., Edgecombe, G.D., Gehling, J.G., Paterson, J.R. (2011) Modern optics in exceptionally preserved Early Cambrian arthropod eyes from Australia. *Nature* 474(7353), 631-634.
- López-Gómez, J., Martín-Chivelet, J., Palma, R.M. (2009) Architecture and development of the alluvial sediments of the Upper Jurassic Tordillo Formation in the Cañada Ancha Valley, northern Neuquén Basin, Argentina. *Sedimentary Geology* 219, 180-195.
- Martín-Chivelet, J., Chacón, B. (2007) Event-stratigraphy of the upper Cretaceous to lower Eocene hemipelagic sequences of the Prebetic Zone (SE Spain): record of the onset of tectonic convergence in a passive continental margin. *Sed. Geology* 197(1-2), 141-163.
- Martín-Chivelet, J., Muñoz, B., Domínguez Villar, D., Turrero, M.J., Ortega, A.I. (2006) Comparative analysis of stalagmites from two caves of Northern Spain. Implications for Holocene paleoclimate studies. *Geologica Belgica* 9(3-4), 323-335.
- Martín-Chivelet, J., Palma, R.M., López-Gómez, J., Kietzmann, D.A. (2011a) Earthquake-induced soft-sediment deformation structures in Upper Jurassic open-marine microbialites (Neuquén Basin, Argentina). *Sedimentary Geology* 235(3-4), 210-221.
- Martín-Chivelet, J., Muñoz-García, M.B., Edwards, R.L., Turrero, M.J., Ortega, A.I. (2011b) Land surface temperature changes in Northern Iberia since 4000 yr BP, based in $\delta^{13}C$ of speleothems. *Global and Planetary Change* 77 (1-2) (doi:10.1016/j.gloplacha.2011.02.002).
- Martín-García, R., Alonso-Zarza, A.M., Martín-Pérez, A. (2009) Loss of primary texture and geochemical signatures in speleothems due to diagenesis: Evidences from Castañar Cave, Spain. *Sedimentary Geology* 221, 141-149.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., de Boer, P., Soria, A.R. (2008) Aeolian sand sea development along the Mid-Cretaceous Western Tethyan margin (Spain): erg sedimentology and palaeoclimate implications. *Sedimentology* 55, 1253-1292.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., de Boer, P., Soria, A.R. (2010) The action of wind and water in a mid-Cretaceous subtropical erg-margin system close to the Variscan Iberian Massif, Spain. *Sedimentology* 57, 1315-1356.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., de Boer, P.L., Soria, A.R. (2011) Controls on marine-erg margin cycle variability: aeolian-marine interaction in the mid-Cretaceous Iberian Desert System, Spain. *Sedimentology* (doi:10.1111/j.1365-3091.2011.01261.X).
- Stephenson, M.H., Angiolini, L., Cózar, P., Jadoul, F., Leng, M.J., Millward, D., Chenery, S. (2010) Northern England Serpukhovian (early Namurian) farfield responses to southern hemisphere glaciation. *Journal of the Geological Society* 167, 1171-1184.
- Vannier, J., García-Bellido, D.C., Hu S.-X., Chen, A.L. (2009) Arthropod visual predators in the early pelagic ecosystem: evidence from the Burgess Shale and Chengjiang biotas. *Proceedings of the Royal Society - B* 276, 2567-2574.
- Vilas, L., Arias, C., Castro, J.M., de Gea, G.A., Ruiz-Ortiz, P.A. (2009) The Aptian tectonosedimentary episode in the Eastern Prebetic (SE Spain). En: *8th International Symposium on the Cretaceous System*. University Plymouth (UK). 120-121pp.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación obtenida desde los proyectos: CGL2005-06636-CO2-CO2/BTE, CGL2008-00093, GGL2008-01648BTE, CGL2008-05584-CO2-02, CGL2008-05418, CGL2009-07073, UBA-CIT X133, CGL2009-10340BTE, RPN052/2009, CGL2010-21499BTE, PIP 5142, GR35/10-A-910404 y Grupos de Investigación UCM 910198, 010231, 910429 y 910404.

Episodios Críticos en la Historia de la Tierra

M.A. Álvarez-Sierra^{1,2}, P. Domínguez Alonso^{1,2}, M.T. Fernández Marrón¹, I. García-Paredes¹, A.R. Gómez Cano^{1,2}, A. Goy Goy^{1,2}, M. Hernández Fernández^{1,2} y P. López-Guerrero^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. masierra@geo.ucm.es

²Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

El estudio de los eventos críticos de la historia de la Tierra se ha fundamentado principalmente en el análisis de súbitas pérdidas y/o ganancias de biodiversidad. Sin embargo, estas extinciones masivas y/o radiaciones no han de verse como la única manifestación de los grandes cambios evolutivos que se han producido en la Tierra a lo largo de su historia. Por ello, dentro de la sublínea de investigación “Episodios Críticos en la Historia de la Tierra” se abordan diferentes aproximaciones a esta cuestión, partiendo de la pertenencia de los miembros de la misma a tres grupos de investigación UCM diferentes: Evolución de Mamíferos y Paleoambientes Continentales Cenozoicos (M.A. Álvarez-Sierra, I. García-Paredes, A.R. Gómez Cano, M. Hernández Fernández y P. López-Guerrero), Registro Geológico de Periodos Críticos: Factores Paleoclimáticos y Paleoambientales (P. Domínguez, M.T. Fernández Marrón) y Procesos Bióticos Mesozoicos (A. Goy Goy).

Evolución de Mamíferos y Paleoambientes Continentales Cenozoicos

M.A. Álvarez-Sierra^{1,2}, I. García-Paredes¹, A.R. Gómez Cano^{1,2}, M. Hernández Fernández^{1,2} y P. López-Guerrero^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. masierra@geo.ucm.es

²Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Los integrantes de este subgrupo están especializados en el estudio de los fósiles de mamíferos y las cuencas cenozoicas continentales. Con el fin de reconstruir el paisaje y el clima de los ambientes continentales durante el Cenozoico, se analizan los fósiles desde diferentes perspectivas: sistemática, evolución, bioestratigrafía, biocronología, paleoecología y paleoclimatología.

La descripción de la biodiversidad de mamíferos del Cenozoico es un paso previo esencial para la realización de cualquier estudio basado en este tipo de fósiles. En este contexto resulta de especial interés el trabajo continuado que se viene realizando durante más de treinta años en la Cuenca de Calatayud-Daroca (Daams et al 1999, van der Meulen et al 2011a y 2011b), gracias al cual se ha obtenido gran cantidad de información del registro fósil de vertebrados del Mioceno. Durante la última década también se han realizado análisis de las faunas de mamíferos de yacimientos de la Cuenca de Madrid (Peláez-Campomanes et al 2003), como los del Mioceno medio de Somosaguas (Hernández Fernández et al 2006) o el Mioceno superior de Batallones (Morales et al 2008).

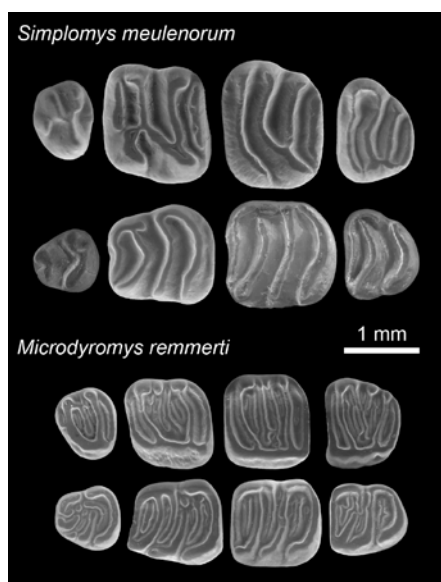


Figura 1. Ejemplo de nuevos taxones de glíridos (Rodentia) recientemente descritos en Calatayud-Daroca (García-Paredes et al 2010 y 2011).

Todos estos estudios han posibilitado la descripción de nuevos taxones (p. ej., van der Meulen et al 2003, García-Paredes et al 2009 y 2010, López-Antoñanzas et al 2010), permitiendo un mayor conocimiento de las faunas de vertebrados del Cenozoico ibérico (Figura 1). El análisis de las tendencias evolutivas y los cambios en la composición de las asociaciones de mamíferos a lo largo del Cenozoico permite proponer escalas bioestratigráficas y biocronológicas. Entre ellas, resultan de especial interés las derivadas del trabajo realizado en la Cuenca de Calatayud-Daroca (van der Meulen et al 2011a y 2011b), que representa uno de los muestreos más detallados del Neógeno mundial, abarcando diversos episodios críticos tanto en la evolución de las faunas de mamíferos como dentro del conjunto de variaciones ambientales del planeta. El nivel de resolución de esta secuencia de yacimientos ha permitido establecer correlaciones con las faunas de Europa central (Figura 2).

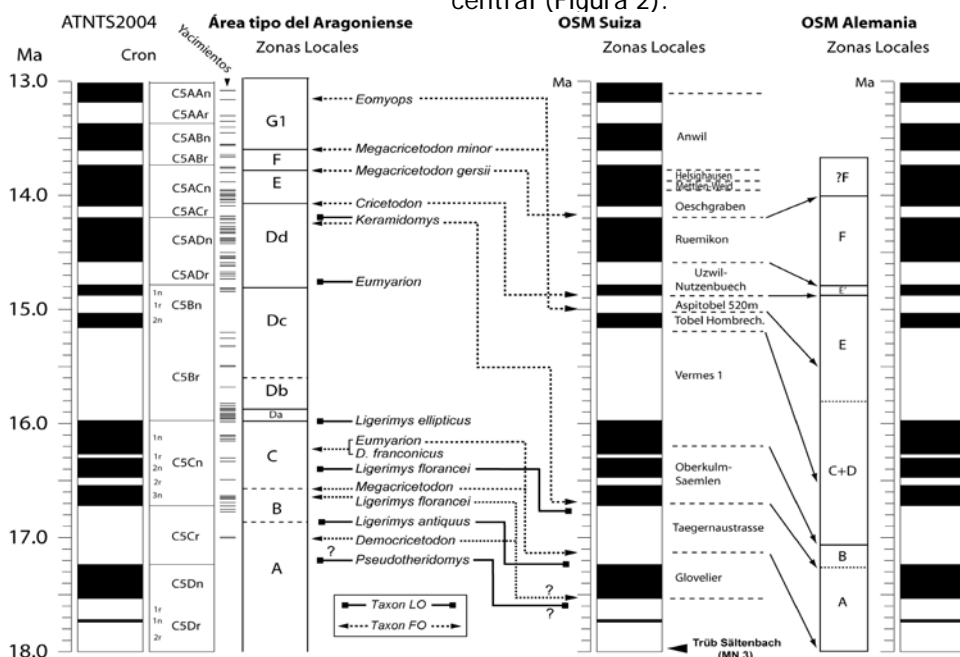


Figura 2. Comparación de las secuencias bioestratigráficas del Mioceno medio de Calatayud-Daroca, OSM en Suiza y Alemania (modificado de van der Meulen et al 2011a).

Por otro lado, también estamos realizando una revisión de la biocronología del Neógeno para el conjunto de la Península Ibérica, en función de las variaciones faunísticas detectadas en las faunas de roedores de varios centenares de yacimientos (Hernández Fernández et al 2004, Gómez Cano et al 2011). Este tipo de estudios han permitido establecer el marco biocronológico para el estudio posterior de los eventos bióticos y ambientales detectados a lo largo de diversas sucesiones faunísticas.

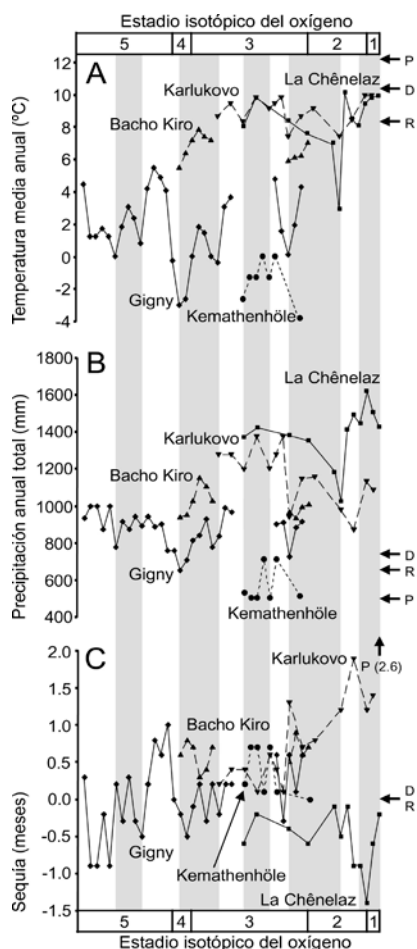


Figura 3. Curvas de paleotemperatura (A), paleoprecipitación (B) y duración de la sequía (C) basadas en el análisis bioclimático cuantitativo de las faunas de roedores del Pleistoceno superior de Europa (modificado de Hernández Fernández 2006). Las bandas verticales se corresponden con los interestadios mostrados por la curva de paleotemperatura.

El estudio exhaustivo de las faunas de mamíferos, tanto fósiles como actuales, que se ha realizado en la última década ha permitido nuevos avances en los campos de la paleoecología y paleoclimatología.

En el momento actual, las faunas de mamíferos aparecen como un indicador paleoclimático de gran importancia en los medios continentales, y nuestro grupo tiene una gran experiencia en la exploración de las nuevas posibilidades que ofrece esta herramienta para el conocimiento de los climas del pasado.

Además del análisis clásico de las variaciones faunísticas (Hernández Fernández et al 2006), también hemos aplicado análisis geoquímicos (Domingo et al 2009) y desarrollado metodologías nuevas, como el análisis bioclimático (Hernández Fernández 2001, Hernández Fernández y Peláez-Campomanes 2003 y 2005).

La aplicación de estas técnicas a diferentes periodos temporales y áreas geográficas ha dado resultados reseñables tanto para el Pleistoceno Superior europeo (Hernández Fernández 2006, Figura 3) como para el Plio-Pleistoceno ibérico (Hernández Fernández et al 2007) y del Este de África (Hernández Fernández y Vrba 2006).

Hemos podido detectar una variación desde la situación de "óptimo" climático del Plioceno inferior, a través de un "deterioro" transicional durante el límite Plioceno-Pleistoceno, el cual se prolongó durante aproximadamente un millón de años, hasta llegar a una "estabilización" en torno al régimen climático actual hace alrededor de 2.5 Ma (Figura 4).

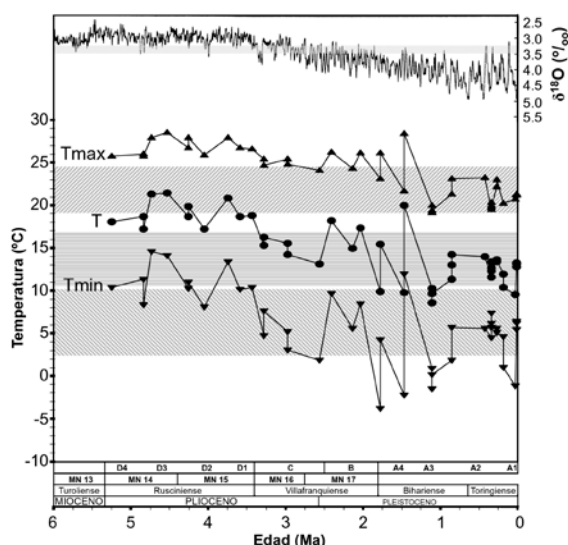


Figura 4. Curvas de paleotemperatura (temperatura media anual, T; temperatura media del mes más cálido, Tmax; temperatura media del mes más frío, Tmin) basadas en el análisis bioclimático cuantitativo de las faunas de roedores del Plio-Pleistoceno ibérico, en comparación con la variación isotópica durante el periodo (Shackleton, 1995). Las bandas horizontales muestran el rango actual de temperaturas e isótopos (modificado de Hernández Fernández et al 2007).

Para terminar, otro de los aspectos en los que nuestro grupo se ha centrado durante los últimos años ha sido el estudio de la evolución de los mamíferos en relación con los cambios climáticos globales. Para ello, por un lado nos hemos basado en la gran cantidad de datos obtenidos, a lo largo de más de treinta años de trabajo en las cuencas cenozoicas ibéricas, sobre las faunas de mamíferos del Neógeno, mientras que por otro hemos realizado análisis ecológicos de las faunas actuales que muestran la influencia de los factores bióticos y abióticos sobre su evolución.

En el primero de los casos se ha podido constatar la existencia de una correlación entre la ciclicidad astronómica de amplio rango (2.4 y 1.2 Ma) y el reemplazamiento de las especies de roedores durante el Neógeno ibérico.

Por primera vez, se pudo mostrar la influencia de ciclos astronómicos de amplio rango, y las consiguientes variaciones climáticas que llevan emparejadas, en la dinámica de reemplazamiento de los mamíferos a escala regional, con las implicaciones de tipo evolutivo que esto conlleva (van Dam et al 2006, Figura 5).

Por otro lado, se ha observado como las diferencias ecofisiológicas existentes entre grandes y pequeños mamíferos pueden reflejarse en una diferente respuesta evolutiva frente a los cambios climáticos (Casanovas-Vilar et al 2010). Estos resultados se han visto corroborados al analizar las características ecológicas de las faunas de mamíferos africanos (Hernández Fernández y Vrba 2005) y sudamericanos (Moreno Bofarull et al 2008) en relación con las predicciones de la hipótesis evolutiva del uso de los recursos, que indica una especiación diferencial en función del grado y tipo de especialización ambiental de diferentes linajes de organismos terrestres (Vrba 1992).

En la actualidad, los miembros del grupo de investigación participan en los siguientes proyectos del Plan Nacional i+d+i: CGL-2008-05813-C02-01, CGL-2008-04200/BTE, CGL-2010-19116/BOS, CGL-2010-20868 y en el Programa para la financiación de grupos de investigación consolidados de la UCM-BSCH, convocatoria del año 2010.

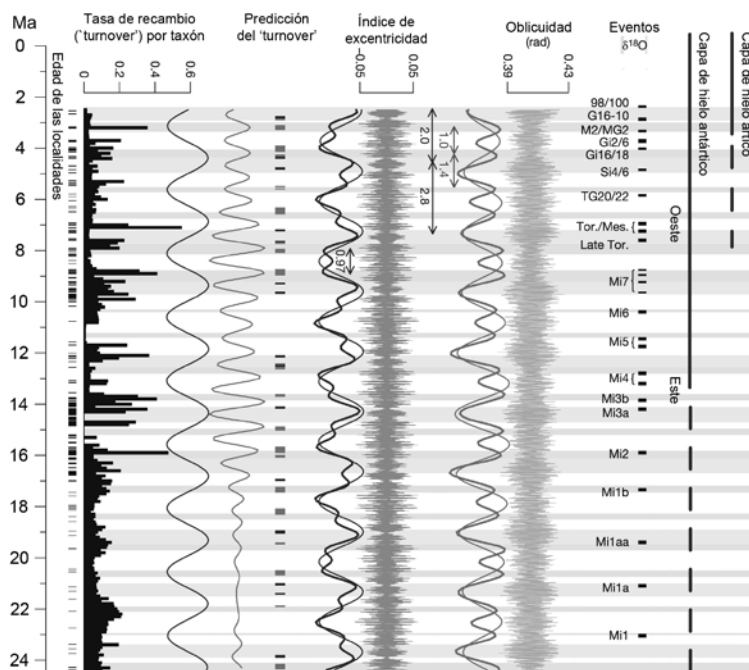


Figura 5. Correlación entre los ciclos astronómicos de amplio rango (2.4 y 1.2 Millones de años), las variaciones climáticas y el reemplazamiento ('turnover') de las especies de roedores durante el Neógeno ibérico (modificado de van Dam et al 2006).

Contribución de la Palinología al conocimiento de los eventos florísticos y ambientales en el tránsito K/T (Cretácico/Terciario)

M.T. Fernández Marrón¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. emarron@geo.ucm.es

El estudio de los eventos críticos de la historia de la Tierra se ha fundamentado principalmente en pérdidas súbitas en la biodiversidad de grupos animales. Sin embargo, estas extinciones masivas no son tan evidentes en el mundo vegetal, y solo en algunos episodios como en el límite Cretácico/Terciario se han puesto de manifiesto en ciertas regiones, pero no a escala global.

Actualmente se están estudiando las asociaciones palinológicas de varias secciones del Cretácico superior de la región centromeridional pirenaica y con especial énfasis en las que se han localizado el límite K/T, como la sección continental de Fontllonga y la de carácter parálico de Campo. En estas secciones el límite K/T ha sido calibrado mediante datos bioestratigráficos, magnetoestratigráficos y geoquímicos. La caracterización palinológica de dicho intervalo, dentro de un estudio integral del Cretácico superior de la Cuenca pirenaica, permite poner de manifiesto diversos aspectos paleogeográficos, paleoambientales, secuenciales, etc.

A fin de detectar los posibles cambios en la vegetación como consecuencia de la crisis Cretácica/Terciaria se han analizado numerosas muestras palinológicas del intervalo. Aunque las muestras del Maastrichtiense superior presentan asociaciones esporopolínicas ricas y variadas y la mayoría de las muestras del Daniense son pobres en número de granos y menos variadas, sus asociaciones de esporomorfos son similares (Figura 6). Esto permite concluir que no tuvo lugar un cambio profundo en la composición florística durante el límite K/T (Fernández Marrón et al 2004a y 2008).

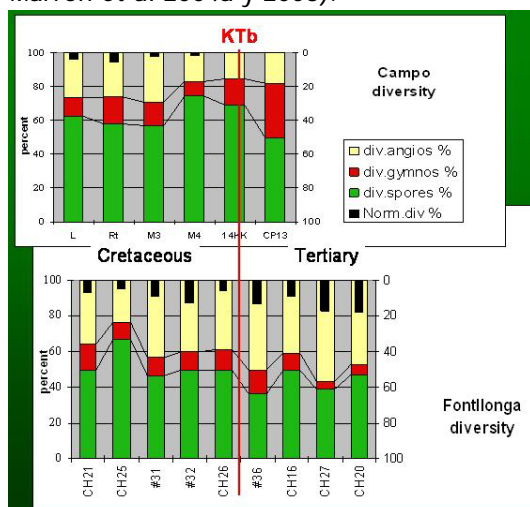


Figura 6. Asociaciones palinológicas del Límite Cretácico/Terciario en las secciones de Campo y Fontllonga de la Cuenca pirenaica.

En la Formación Tresp se ha encontrado que, junto con elementos característicos de las palinofloras de la denominada provincia Euroasiática de "Normapolles", había una presencia significativa de palinomorfos típicos de la provincia de "Palmaceas" de África y Sudamérica septentrional. Estos análisis palinológicos ponen de manifiesto las influencias de Laurasia y Gondwana en los depósitos del Cretácico superior de la vertiente Sur de los Pirineos. Esta mezcla de influencias paleogeográficas también habían sido apreciadas en la composición de los restos de vertebrados (López-Martínez et al 2009).

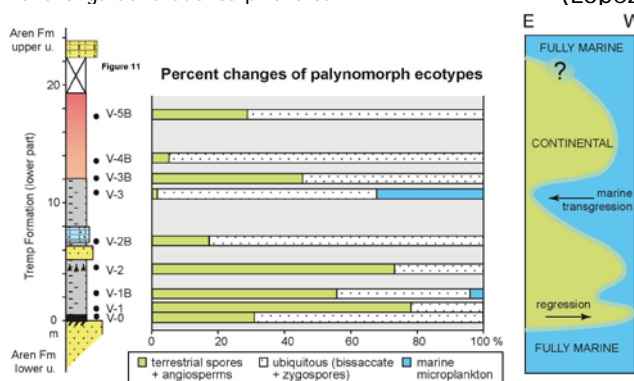


Figura 7. Resultados de los análisis palinológicos que indican la existencia de varios episodios regresivos y transgresivos en los depósitos inferiores de la Formación Tresp.

Asimismo, el contenido palinológico de una de las muestras en los depósitos inferiores de la Formación Tresp, rica en fitoplacton marino, revela un episodio transgresivo en las capas superiores de margas grises de la formación Tresp y un nuevo proceso regresivo que precede a la gran transgresión representada en la Formación Aren (Fernández Marrón et al 2004b). Estos episodios no habían sido previamente detectados ni correlacionados con cambios litológicos (Figura 7).

Geología y excavaciones de la cueva de Azokh, Cáucaso (Nagorno-Karabagh, Pleistoceno)

P. Domínguez Alonso^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. patricio@geo.ucm.es

²Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

La cueva de Azokh se encuentra situada aproximadamente a un kilómetro de la villa del mismo nombre, en el sur del Cáucaso Menor. El Cáucaso Menor es una región elevada separada del Cáucaso mayor por la depresión de la cuenca intermontañosa del Kura, con abundantes rellenos de molasas de edad Paleógeno a Cuaternario. El sitio es relevante debido a su posición geográfica en una importante ruta migratoria entre el subcontinente africano y Eurasia, y también debido al hallazgo de restos fósiles humanos de edad Pleistoceno medio así como abundantes restos de su actividad (Fernández Jalvo et al 2010).

La estratigrafía de los rellenos sedimentarios de las principales entradas a la cueva, Azokh 1 y Azokh 5 han sido recientemente descritas (Murray et al 2009). La secuencia estratigráfica de la entrada principal del sistema de la cueva, Azokh 1, se ha dividido en nueve unidades separadas topográficamente en dos secuencias aisladas. La más antigua situada en la misma entrada del sitio y la segunda conservada al fondo de esa galería de entrada pero con evidencias a lo largo de toda la galería. La secuencia superior ha proporcionado abundantes micro y macrorestos fósiles de mamíferos y evidencias de ocupación humana. La base de esta secuencia está datada entre los 200 y 300 ka, mientras que el nivel superior es de edad Holoceno.

El sistema de la cueva Azokh forma parte de lo que fue una red kárstica mucho mayor. Se ha desarrollado en carbonatos *greinstone* de edad mesozoica y con una importante silicificación. En toda la secuencia hay abundantes masas silíceas que han jugado un importante papel en la formación de las cavidades y en la estabilización de bóvedas. En los niveles silíceos se han encontrado abundantes espongiarios y celentéreos. En la entrada principal de la cueva hay un nivel muy conspicuo con *Thalassinoides* silicificados. La edad precisa de esta roca es aún desconocida, posiblemente cretácica. Su datación forma parte de una prospección geológica regional que llevamos a cabo en la actualidad. La mejor opción de datación es un potente nivel volcánico sinsedimentario localizado a un kilómetro al oeste de la cueva. Este vulcanismo ha debido jugar un importante papel en la génesis del karst. La cueva presenta una estructura de amplias salas conectadas directamente entre sí, con abundantes *cupolas* (chimeneas verticales que acaban bruscamente en el muro del nivel superior de roca), *pendants* (estructuras aisladas de roca encajante que cuelgan del techo) y signos de corrosión en las paredes. Todo ello apunta hacia una espeleogénesis de carácter principalmente hipogénica.

Eventos de extinción en ambientes marinos del Jurásico inferior

A. Goy Goy^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. angoy@geo.ucm.es

²Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Uno de los proyectos en los que está trabajando nuestro grupo es el estudio de los eventos de extinción masiva registrados en el tránsito Triásico-Jurásico y en el Toarciense Inferior (Jurásico inferior). Sus causas son controvertidas, existiendo dos hipótesis principales: un evento anóxico oceánico muy extendido, o un episodio de calentamiento global.

Nuestros estudios parecen apoyar la segunda hipótesis (Gómez et al 2008, 2011, Gómez y Arias 2010, García Joral et al 2011). Existe una excelente relación entre el patrón de calentamiento progresivo del Toarciense Inferior y la pérdida de especies bentónicas, neotónicas y planctónicas, mientras que el grado de oxigenación del fondo marino muestra un patrón independiente. Parece ser que la elevación de las temperaturas dio lugar a un reemplazamiento de especies y un cambio en el tipo de distribución paleobiogeográfica. En ello también influyó el patrón de circulación oceánica, que impidió la dispersión de algunas especies a áreas ambientalmente más favorables.

Referencias

- Casanovas-Vilar, I., García-Paredes, I., Alba, D.M., van den Hoek Ostende, L.W., Moyà-Solà, S. (2010) The European Far West: Miocene mammal isolation, diversity and turnover in the Iberian Peninsula. *Journal of Biogeography* 37, 1079-1093.
- Daams, R., van der Meulen, A.J., Álvarez Sierra, M.Á., Peláez-Campomanes, P., Calvo, J.P., Alonso Zarza, M.A., Krijgsman, W. (1999) Stratigraphy and sedimentology of the Aragonian (Early to Middle Miocene) in its type area (North-Central Spain). *Newsletters on Stratigraphy* 37, 103-139.
- Domingo, L., Cuevas-González, J., Grimes, S.T., Hernández Fernández, M., López-Martínez, N. (2009) Multiproxy reconstruction of the palaeoclimate and palaeoenvironment of the Middle Miocene Somosaguas site (Madrid, Spain) using herbivore dental enamel. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 272, 53-68.
- Fernández-Jalvo, Y., King, T., Andrews, P., Yepiskoposyan, L., Moloney, N., Murray, J., Domínguez-Alonso, P., Asryan, L., Ditchfield, P., Van der Made, J., Torres, T., Sevilla, P., Nieto Díaz, M., Cáceres, I., Allué, E., Marín Monfort, M.D., Sanz Martín, T. (2010) The Azokh Cave complex: Middle Pleistocene to Holocene human occupation in the Caucasus. *Journal of Human Evolution* 58, 103-109.
- Fernández Marrón, M.T., Jaramillo, C., Domingo, L., Fonolla, J. F., De La Parra, F., López-Martínez, N. (2008) The palynological record across the Cretaceous-Tertiary boundary in two sections from the Southern Pyrenees, Spain. *Terra Nostra* 2, 79-80.
- Fernández Marrón, M.T., Fonollá Ocete, J.F., Torices, A., López-Martínez, N. (2004b) Palynological characterization of a transgressive episode in Upper Campanian continental deposits (Trempey formation, South-Central Pyrenees). *Polen* 14, 459-460.
- Fernández Marrón, M.T., López-Martínez, N., Fonollá Ocete, J.F., Valle, M.F. (2004a) The palynological record across the Cretaceous-Tertiary boundary in differing palaeogeographical setting from the Southern Pyrenees (Spain). En: *The Palynology and Micropaleontology of Boundaries*, A.B. Beaudoin y M.J. Head (eds.), Geological Society, London, Special Publication 230, 243-255.

- García Joral, F., Gómez, J.J., Goy, A. (2011) Mass extinction and recovery of the Early Toarcian (Early Jurassic) brachiopods linked to climate change in Northern and Central Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 302, 367-380.
- García Paredes, I., Peláez-Campomanes, P., Álvarez Sierra, M.A. (2009) Gliridae (Rodentia, Mammalia) with simple dental pattern: a new genus and new species from the European Lower and Middle Miocene. *Zool J. of the Linnean Society* 157, 622-652.
- García-Paredes, I., Peláez-Campomanes, P., Álvarez-Sierra, M.A. (2010) *Microdyromys remmertii*, sp. nov., a new Gliridae (Rodentia, Mammalia) from the Aragonian Type Area (Miocene, Calatayud-Montalbán Basin, Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology* 30, 1594-1609.
- Gómez, J.J., Goy, A. (2011) Warming-driven mass extinction in the Early Toarcian (Early Jurassic) of northern and central Spain. Correlation with other time-equivalent European sections. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 306, 176-195.
- Gómez, J.J., Goy, A., Canales, M.L. (2008) Seawater temperature and carbon isotope variations in belemnites linked to mass extinction during the Toarcian (Early Jurassic) in Central and Northern Spain. Comparison with other European sections. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 258, 28-58.
- Gómez Cano, A., Hernández Fernández, M., Álvarez-Sierra, M.A. (2011) Biogeographic provincialism in rodent faunas from the Iberocccitanian Region (southwestern Europe) generates severe diachrony within the Mammalian Neogene (MN) biochronologic scale during the Late Miocene. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 307, 193-204.
- Hernández Fernández, M. (2001) Bioclimatic discriminant capacity of terrestrial mammal faunas. *Global Ecology and Biogeography* 10, 113-128.
- Hernández Fernández, M. (2006) Rodent faunas as indicators of climatic change in Europe during the last 125,000 years. *Quaternary Research* 65, 308-323.
- Hernández Fernández, M., Alberdi, M.T., Azanza, B., Montoya, P., Morales, J., Nieto, M., Peláez-Campomanes, P. (2006) Identification problems of arid environments in the Neogene-Quaternary mammal record of Spain. *Journal of Arid Enviro.* 66, 585-608.
- Hernández Fernández, M., Azanza, B., Álvarez Sierra, M.A. (2004) Iberian Plio-Pleistocene biochronology: micromammalian evidence for MNs and ELMAs calibration in southwestern Europe. *Journal of Quaternary Science* 19, 605-616.
- Hernández Fernández, M., Álvarez Sierra, M.A., Peláez-Campomanes, P. (2007) Bioclimatic analysis of rodent palaeofaunas reveals severe climatic changes in Southwestern Europe during the Plio-Pleistocene. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 251, 500-526.
- Hernández Fernández, M., Cárdbaba, J.A., Cuevas-González, J., Fesharaki, O., Salesa, M.J., Corrales, B., Domingo, L., Elez, J., López Guerrero, P., Sala-Burgos, N., Morales, J., López Martínez, N. (2006) Los yacimientos de vertebrados del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid): implicaciones paleoambientales y paleoclimáticas. *Estudios Geológicos* 62, 266-294.
- Hernández Fernández, M., Peláez-Campomanes, P. (2003) The bioclimatic model: a method of palaeoclimatic qualitative inference based on mammal associations. *Global Ecology and Biogeography* 12, 507-517.
- Hernández Fernández, M., Peláez-Campomanes, P. (2005) Quantitative palaeoclimatic inference based on terrestrial mammal faunas. *Global Eco. and Biogeo.* 14, 39-56.
- Hernández Fernández, M., Vrba, E.S. (2005) Macroevolutionary processes and biomic specialization: testing the resource-use hypothesis. *Evolutionary Ecology* 19, 199-219.
- Hernández Fernández, M., Vrba, E.S. (2006) Plio-Pleistocene climatic change in the Turkana Basin (East Africa): evidence from large mammal faunas. *Journal of Human Evolution* 50, 595-626.

- López-Antoñanzas, R., Peláez-Campomanes, P., Álvarez-Sierra, M.Á., García-Paredes, I. (2010) New species of *Hispanomys* (Rodentia, Cricetodontinae) from the Upper Miocene of Batallones (Madrid, Spain). *Zoological Journal of the Linnean Society* 160: 725-747.
- López-Martínez, N., Arribas, M.E, Fernández Marrón, M.T., Soler Gijón, R. Torices, A. Domingo, L., Fonollá, J.F. (2009) Continental palaeoenvironment and palaeoclimate in Late Cretaceous Southern Pyrenees. En: *Upper Cretaceous continental deposits of South-eastern and South-central Pyrenees. Mesozoic Terrestrial Ecosystems in Eastern Spain*, López Martínez, N., Galobart, A., Vicens, E. (coords.). *Fundamental* 14, 14-18.
- Morales, J., Pozo, M., Silva, P.G., Domingo, M.S., López-Antoñanzas, R. Álvarez Sierra, M.A., Antón, M., Martín Escorza, C., Quirarte, V., Salesa, M.J., Sánchez, I.M., Azanza, B., Calvo, J.P., Carrasco, P., García-Paredes, I., Knoll, F., Hernández Fernández, M., van den Hoek Ostende, L., Merino, L., van der Meulen, A., Montoya, P., Peigné, S., Peláez-Campomanes, P., Sánchez-Marco, A., Turner, A., Abella, J., Alcalde, G.M., Andrés, M., De Miguel, D., Cantalapiedra, J.L., Fraile, S., García Yelo, B.A., Gómez Cano, A.R., López Guerrero, P., Oliver, A., Siliceo, G. (2008) El sistema de yacimientos de mamíferos miocenos del Cerro de los Batallones, Cuenca de Madrid: estado actual y perspectivas. *Seminario de Paleontología de Zaragoza* 8, 41-117.
- Moreno Bofarull, A., Arias Royo, A., Hernández Fernández, M., Ortiz-Jaureguizar, E., Morales, J. (2008) Influence of continental history on the ecological specialization and macroevolutionary processes in the mammalian assemblage of South America: differences between small and large mammals. *BMC Evolutionary Biology* 8, 97.
- Murray, J., Domínguez-Alonso, P., Fernández-Jalvo, Y., King, T., Lynch, E.P., Andrews, P., Yepiskoposyan, L., Moloney, N., Cacères, I., Allué, E., Asryan, L., Ditchfield, P., Williams, D.M. (2009) Pleistocene To Holocene Stratigraphy Of Azokh 1 Cave, Lesser Caucasus. *Irish Journal of Earth Sciences* 28, 75-91.
- Peláez-Campomanes, P., Morales, J., Álvarez Sierra, M.A., Azanza, B., Fraile, S., García-Paredes, I., Hernández Fernández, M., Herráez, E., Nieto, M., Pérez B., Quirarte, V., Salesa, M.J., Sánchez, I.M., Soria, D. (2003) Updated biochronology of the Miocene mammal faunas from the Madrid basin (Spain). *Deinsea* 10, 431-441.
- Shackleton N.J. (1995) New data on the evolution of Pliocene climatic variability. En: *Paleoclimate and Evolution: with emphasis on human origins*, E.S. Vrba, G.H. Denton, T.C. Partridge y L.H. Burckle (eds.), Yale University Press, New Haven, pp. 242-248.
- Van Dam, J.A., Abdul Aziz, H., Álvarez Sierra, M.A., Hilgen, F.J., Van den Hoek Ostende, L.W., Lourens, L., Mein, P., van der Meulen, A.J., Peláez-Campomanes, P. (2006) Long-period astronomical forcing of mammal turnover. *Nature* 443, 687-691.
- Van der Meulen, A.J., Peláez-Campomanes, P., Daams, R. (2003) Revision of médium-sized Cricetidae from the Miocene of the Daroca-Villafeliche area in the Calatayud-Teruel basin. *Coloquios de Paleontología* Vol. Ext. 1, 385-441.
- Van der Meulen, A.J., Peláez-Campomanes, P., Levin, S.A. (2005) Age structure, residents, and transients of Miocene rodent communities. *The American Naturalist* 165, E108-125.
- Van der Meulen, A.J., García-Paredes, I., Álvarez-Sierra, M.A., Van den Hoek Ostende, L.W., Hordijk, K., Oliver, A., López-Guerrero, P., Hernández Ballarín, V., Peláez-Campomanes, P. (2011a) Biostratigraphy or biochronology? Lessons from the Early and Middle Miocene small Mammal Events in Europe. *Geobios* 44, 309-321.
- Van der Meulen, A.J., García-Paredes, I., Álvarez-Sierra, M.A., Van den Hoek Ostende, L.W., Hordijk, K., Oliver, A., Peláez-Campomanes, P. (2011b) Updated Aragonian biostratigraphy: Small Mammal distribution and its implications for the Miocene European Chronology. *Geologica Acta* (doi:10.101344/105.000001710).
- Vrba, E.S. (1992) Mammals as a key to evolutionary theory. *Journal of Mammalogy* 73, 1-28.

Paleoclimatología y Cambio Global

S. de Alba^{1,2}, C. Arias¹, R. García-Herrera^{3,4}, J.J. Gómez^{1,5}, J.F. González-Rouco^{3,4}, J.F. Martín-Duque^{1,2}, M.L. Montoya^{3,4}, B. Rodríguez de Fonseca^{3,6}, Y. Sánchez-Moya^{1,5}, A. Sopena¹ y P. Zurita^{3,6}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. Sdealba@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias, 1. 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II: Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

⁵Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

⁶Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

Las investigaciones incluidas en la línea de Paleoclimatología y Cambio Global tienen como objetivo principal progresar en el conocimiento de la evolución del clima del pasado, de los mecanismos responsables de la variabilidad climática, y de las dimensiones del Cambio Global. Desde el punto de vista temporal se estudian eventos, que abarcan periodos interanuales, glacial-interglacial, y de efectos greenhouse-icehouse. La escala espacial incluye, estudios locales, regionales, hemisféricos y mundiales. Se abordan los problemas relacionados con el clima pasado o actual, los cambios ambientales consecuentes y la posible evolución futura del clima. Los problemas se afrontan además desde una perspectiva geoecológica que integra aspectos de las ciencias del suelo, hidrología, geomorfología, palaeohidrología y física de la atmósfera. La oportunidad de la creación del Instituto de Geociencias permite actuar con la doble vocación de avanzar en uno de los ejes prioritarios del actual Plan de Acción del CSIC y de integrar y buscar sinergias entre investigadores que con distintos enfoques y herramientas diversas, trabajan en el ámbito de la Física de la Atmósfera, la Geología Sedimentaria, la Geomorfología, etc. Se trata de combinar las observacionales que se ocupan de la reconstrucción del clima del pasado o los impactos geoecológicos, con una variedad de métodos de simulación numérica.

El calentamiento global y la extinción masiva en el Toarciense (Jurásico Inferior, ~183 Ma)

J.J. Gómez^{1,2}, A. Goy Goy^{1,2} y M.L. Osete^{3,4}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. jgomez@geo.ucm.es

²Dpto. Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

Se estudia un calentamiento global registrado hace ~183 Ma (Toarciense, Jurásico Inf.) y su repercusión en la biodiversidad. Se pretende aportar datos para evaluar la repercusión en la fauna marina de los cambios climáticos pasados y su posible extrapolación al actual, y conocer el posible tiempo de recuperación de los grupos extinguidos. La temperatura de los océanos tiene una fuerte componente latitudinal, por lo que se han reconstruido los movimientos de la Placa Ibérica durante el Jurásico en base a los datos paleomagnéticos (Osete et al 2011). Durante el Toarciense, Iberia ocupó la posición más septentrional de las registradas durante el Jurásico, por lo que debería coincidir con un relativo enfriamiento. No obstante, las paleotemperaturas calculadas indican un importante calentamiento.

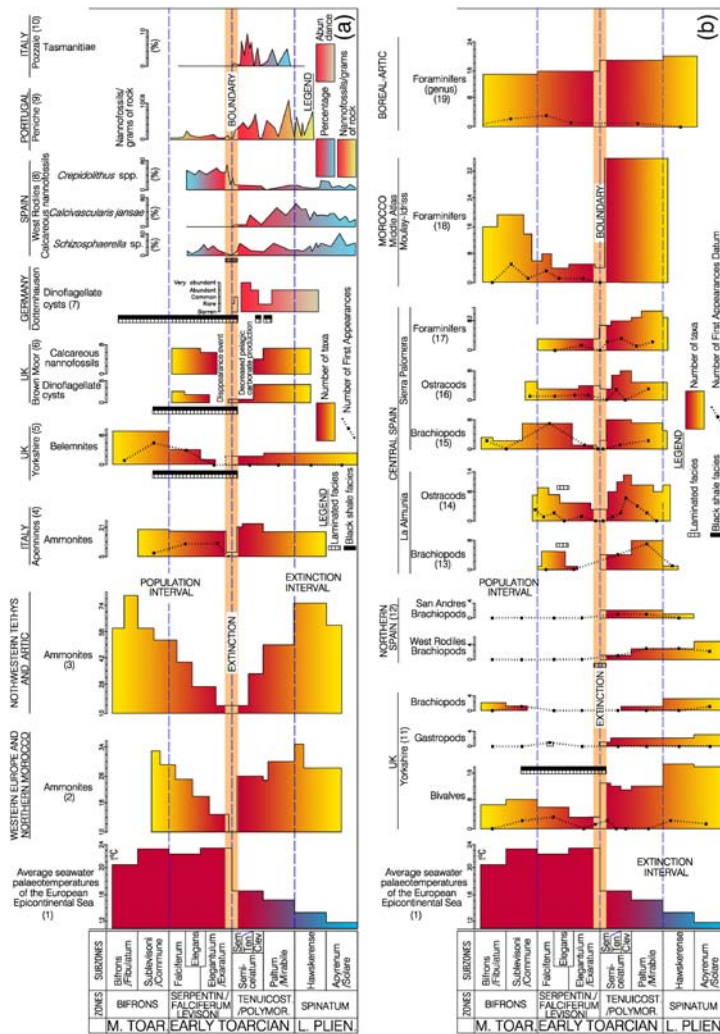


Figura 1. Panel de correlación entre las temperaturas medias de Europa durante el Toarciense y las variaciones en el número de especies de los diferentes organismos.

Para calcular las paleotemperaturas del océano se ha utilizado la relación isotópica del oxígeno registrada en la calcita de belemnites, de los que se ha estudiado sus posibles transformaciones diagenéticas para muestrear y analizar solo aquellas partes que guardan la señal original del agua de mar.

En todas las secciones estudiadas y en su correlación con los datos Europeos (Figura 1) se observa que, partiendo de una etapa fría durante el Pliensbachiense Superior, se produce un calentamiento progresivo de unos 3°C durante el comienzo del Toarciense Inferior. Este calentamiento coincide con una disminución progresiva en el número de especies de diferentes grupos de organismos, representando el intervalo de extinción. A esta etapa le sigue un calentamiento rápido de unos 6-7°C que coincide con el límite de extinción (Gómez y Goy 2011). Algunos grupos se recuperan en varios cientos de miles de años, mientras otros tardan más de 2 millones de años. La estrecha correlación entre calentamiento y extinción indica una correspondencia causa-efecto entre ambas, descartándose la anoxia como mecanismo de la extinción, que era la opinión más extendida.

Agradecimientos

Estas investigaciones han sido financiadas por los proyectos CGL 2008-03112 y CGL 2008-01273 del Ministerio español de Ciencia e Innovación, y por los proyectos GR58/08B/910431, GR58/08A/910429 y GR58/08A/91039 de la universidad Complutense de Madrid.

Referencias

- Gómez, J.J., Goy, A. (2011) Warming-driven mass extinction in the Early Toarcian (Early Jurassic) of northern and central Spain. Correlation with other time-equivalent European sections. *Palaeogeografía, Palaeoclimatología, Palaeoecología* 306, 176-195.
- Osete, M.L., Gómez, J.J., Pavón-Carrasco, F.J., Villalain, J.J., Palencia, A., Ruiz-Martínez, V.C., Heller, F. (2011) The evolution of Iberia during the Jurassic from palaeomagnetic data. *Tectonophysics* 502, 105-120.

Modelización y Análisis Paleoclimático (PalMA)

J. Álvarez Solas^{1,2}, R. Banderas^{1,2}, L. Fernández Donado^{1,2}, E. García Bustamante³, J.F. González Rouco^{1,2}, A. Hidalgo Prieto⁴, P.A. Jiménez Muñoz^{2,5}, E.E. Lucio Eceiza^{1,2}, M. Montoya^{1,2}, J. Navarro Montesinos⁵, P. Ortega Montilla^{1,2}, V. Rath² y A. Robinson²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. jorge.alvarez.solas@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II: Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

El grupo PalMA tiene experiencia en el estudio de la variabilidad climática a distintas escalas espaciales y temporales mediante la simulación numérica del clima por medio de una jerarquía de modelos y la utilización de técnicas de regionalización (*downscaling*). Las líneas de investigación desarrolladas cubren las escalas temporales desde interanual a multiseccular a lo largo de los últimos ciclos glaciales. La metodología empleada depende del problema científico concreto abordado. Para el estudio de los periodos más remotos y de los mecanismos que operan a más baja frecuencia se emplean modelos de complejidad intermedia.

En este contexto se incluyen estudios paleoclimáticos de sensibilidad del manto de hielo de Groenlandia (Robinson et al 2011) o de los cambios climáticos abruptos del último período glacial (Banderas et al 2011, Álvarez Solas et al 2010 y 2011). Una línea de investigación fundamental es el estudio de la variabilidad climática interanual a multidecadal durante el último milenio mediante simulaciones con modelos de circulación general acoplados (González Rouco et al 2009).

En este ámbito se ha contribuido en aspectos tales como la utilización de los modelos como una pseudo-realidad para evaluar las reconstrucciones (von Storch et al 2004), el estudio de la influencia de la variabilidad oceánica (Ortega et al 2011), la atribución del cambio climático (Hegerl et al 2011), el estudio de episodios concretos tales como la transición del Óptimo Medieval a la Pequeña Edad de Hielo (González Rouco et al 2011), y la reconstrucción de las temperaturas superficiales basadas en observaciones en sondeos a distintas profundidades (Kukkonen et al 2011, Vogt et al 2001, Rath et al 2011) en relación con procesos criohidrosféricos pasados y recientes. Una parte fundamental de la actividad del grupo se orienta al análisis del clima en alta resolución espacial (Gómez Navarro et al 2011) mediante modelos regionales (Jiménez et al 2010) y técnicas de *downscaling* estadístico (García-Bustamante et al 2011) aplicados a la simulación y análisis del campo de viento en terreno complejo, con implicaciones en el campo de la energía eólica. Este trabajo se enmarca en el ámbito del convenio de colaboración CIEMAT/PalMA. La creación de una empresa con base de transferencia tecnológica (Global Forecasters SL) ha permitido la participación en proyectos en el sector empresarial.

Agradecimientos

Las investigaciones realizadas en los últimos años han sido financiadas por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del Plan Nacional de I+D+i, mediante los proyectos CGL2008-06558-C02-01/CLI, CGL2008-05093/CLI y PSE-120000-2007-14, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino dentro del Programa Acciones Estratégicas mediante los proyectos 200800050083542 y 200800050084028, la Fundación Canadiense para el Clima y las Ciencias Atmosféricas y, a través del programa de financiación de grupos UCM, la CAM (CCG10-UCM/ESP-5070, CCG08-UCM/ESP-4268) y el BCSH (921407-1083).

Referencias

- Álvarez-Solas, J., Charbit, S., Ritz, C., Paillard, D., Ramstein, G., Dumas, C. (2011a) Links between ocean temperature and iceberg discharge during Heinrich events. *Nature Geoscience* 122-126.
- Álvarez-Solas, J., Montoya, M., Ritz, C., Ramstein, G., Charbit, S., Dumas, C., Nisancioglu, K., Dokken, T., Ganopolski, A. (2011b) Heinrich event 1: an example of dynamical ice-sheet reaction to oceanic changes. *Clim. Past Discuss.* 7, 1567-1583.
- Banderas, R., Montoya, M., Álvarez-Solas, J. (2011) Role of CO₂ and Southern Ocean winds in glacial abrupt climate change. *Geophys. Res. Lett.* 7, 3489-3509.
- García-Bustamante E., González-Rouco, J.F., Jiménez, P.A., Navarro, J., Montávez, J.P. (2011) North Atlantic atmospheric circulation and surface wind in the Northeast of the Iberian Peninsula: uncertainty and long term downscaled variability. *Clim. Dyn (en prensa)*.
- Gómez-Navarro J.J., Montavez, J.P., Jerez, S., Jimenez-Guerrero, P., Lorente-Plazas, R., Gonzalez-Rouco, J.F., Zorita, E. (2011) A regional climate simulation over the Iberian Peninsula for the last millennium. *Clim. Past.* 7, 451-472.

- González Rouco, J.F., H. Beltrami, H., Zorita, E., Stevens, M.B. (2009) Borehole climatology: a discussion based on contributions from climate modelling. *Climate of the Past* 5, 97-127.
- González-Rouco, J.F., Fernández-Donado, L., Raible, C.C., Barriopedro, D., Luterbacher, J., Jungclaus, J.H., Swingedouw, D., Servonnat, J., Zorita, E., Wagner, S., Ammann, C.M. (2011) Medieval Climate Anomaly to Little Ice Age transition in current climate models. *PAGES Newsletter* 19(7).
- Hegerl G., Luterbacher, J., González-Rouco, J.F., Tett, S., Crowley, T., Xoplaki, E. (2011) Influence of human and natural forcing on European seasonal temperatures. *Nature Geoscience* 4, 99-103.
- Jiménez P.A., González-Rouco, J.F., García-Bustamante, E., Navarro, J., Montávez, J. P., Vilá-Guerau de Arellano, J., Dudhia, J., Muñoz-Roldán, A. (2010) Surface Wind Regionalization over Complex Terrain: Evaluation and Analysis of a High-Resolution WRF Simulation. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 49, 268-287.
- Kukkonen, I.T., Rath, V., Kivekäs, L., Šafanda, J., Cermak, V. (2011) Geothermal Studies of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland: Vertical variation in heat flow and palaeoclimatic implications, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (on line).
- Ortega P., Montoya, M., González-Rouco, J.F., Mignot, J., Legutke, S. (2011) Variability of the Atlantic meridional overturning circulation in the last millennium and two IPCC, *Clim Dyn.* (en prensa).
- Rath V., González-Rouco, J.F., Goosse, H. (en revisión) Impact of postglacial warming on borehole reconstructions of last millennium temperatures. *Clim. Past. Discussions*.
- Robinson, A., Calov, R., Ganopolski, A. (2011) Greenland ice sheet model parameters constrained using simulations of the Eemian Interglacial. *Climate of the Past* 7(2), 381-396.
- Vogt C., Mottaghy, D., Rath, V., Dijkshoorn, L., Wolf, A., Clauser, C. (en revisión) Vertical Variation in Specific Heat Flow on the Kola Peninsula: Paleoclimate or Fluid Flow? *Jour. Geophys. Res.*
- Von Storch H., Zorita, E., Jones, J., Dimitriev, Y., González-Rouco, J.F., Tett, S. (2004b) Reconstructing past climate from noisy data. *Science* 306(5696), 679-682.

Sedimentología y Estratigrafía aplicadas a la Paleohidrología de crecidas fluviales

Y. Sánchez-Moya^{1,2}, G. Benito³, X. Rodríguez-Lloveras³ y A. Sopena^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. sopena@geo.ucm.es

²Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

Para comprender la respuesta hidrológica de eventos fluviales extremos frente a la variabilidad climática, es necesario extender en el tiempo los registros obtenidos por métodos instrumentales utilizando métodos indirectos como los que proporciona la Paleohidrología.

Las crecidas fluviales transportan una elevada cantidad de sedimentos en suspensión que se acumulan en las llanuras aluviales y a lo largo de los cañones rocosos. Los espesores máximos y la probabilidad de que se preserven ante la erosión de crecidas posteriores, ocurren en zonas de remanso y donde la velocidad del agua, es muy baja, normalmente menor de 0.2 m.s⁻¹.

En general, estas zonas de baja energía, se localizan en los laterales más alejados o protegidos de los valles, en la desembocadura de afluentes, en áreas de expansión de los cauces, en curvas de meandros, o dentro de cavidades y cuevas localizadas en las paredes de cañones rocosos. Estos depósitos (*slackwater deposits*) contienen evidencias que permiten analizar con detalle la cualidad e importancia de las crecidas y obtener un registro completo de inundaciones, desde centenares de años, hasta varios milenios (Benito et al 2003).

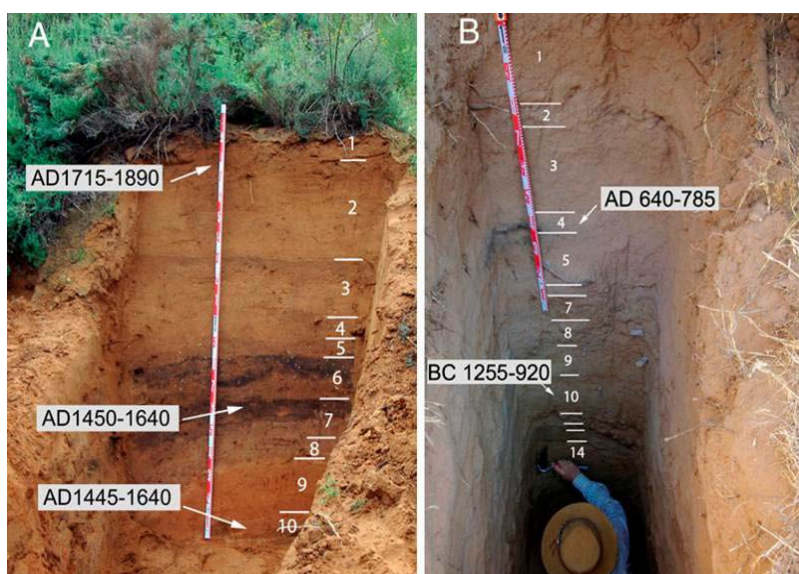


Figura 2. Secuencias depositadas por sucesivas crecidas del río Buffels (Suráfrica) entre los siglos VII y XIX (Modificado de Benito et al 2011).

Cada inundación produce un depósito estratificado y distinto de los sedimentados por crecidas anteriores. El reconocimiento, diferenciación y datación de los depósitos de cada paleocrecida, requiere un estudio muy detallado de las características del sedimento y de las estructuras que reflejan las condiciones de velocidad y profundidad de cada zona inundada (Figura 2). Los indicadores de exposición superficial entre los niveles de inundación que permiten separar los depósitos de crecidas distintas pueden ser paleosuelos, grietas de desecación, niveles de acumulación de hojas y ramas, o intercalaciones de otros materiales procedentes de laderas o barrancos próximos.

La edad relativa se obtiene a partir de la posición estratigráfica. La edad absoluta se determina, cuando es posible, a partir de técnicas radiométricas o arqueológicas. La más utilizada es el C14 con técnicas capaces de datar muestras orgánicas de tamaño muy pequeño, como semillas, polen, hojas o pequeños restos de carbón vegetal. Para datar este tipo de sedimentos también se utiliza la termoluminiscencia y sus variantes de estimulación óptica. La intensidad de la emisión lumínica provocada por excitación en granos de material termoluminiscente como cuarzo, feldespato o calcita, es proporcional al tiempo transcurrido desde que fueron expuestos a la fuente energética primaria. Esta fuente es la luz solar, o la cocción en el caso de material cerámico.

Establecidas la estratigrafía y sedimentología de los depósitos y su altura sobre el cauce, es posible inferir el nivel mínimo alcanzado por el agua durante la crecida. Mediante métodos específicos de cálculo se determinan los caudales pico. Los datos paleohidrológicos así obtenidos se interpretan en función de la variabilidad climática y pueden contribuir a resolver una de las mayores incertidumbres puestas de manifiesto por el IPCC como es la predicción de crecidas extremas en respuesta al Calentamiento Global. Complementan también los estudios de riesgos para una planificación territorial más adecuada.

Agradecimientos

Las investigaciones realizadas en los últimos, han sido financiadas por la Comisión Europea, proyecto WADE (GOCE-CT-2003-506680) y por el Ministerio de Ciencia e Innovación, dentro del Plan Nacional de I+D+i, mediante los proyectos PALEOREC, GL2005-01977/HID y FLOOD-MED-CGL2008-06474-C02-01BTE.

Referencias

- Benito, G., Sánchez-Moya, Y., Sopena, A. (2003) Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus river, Central Spain. *Sedimentary Geology* 157, 107-132.
- Benito, G., Thorndycraft, V.R., Rico, M.T., Sánchez-Moya, Y., Sopena, A., Botero, B.A. Machado, M.J., Davis, M., Perez-González, A. (2011) Hydrological response of a dryland ephemeral river to southern African climatic variability during the last millennium. *Quaternary Research* 75, 471-482.

Transformación del Territorio y Cambio Global

J.F. Martín Duque^{1,2}, S. de Alba^{1,2}, M. Alcázar^{1,2}, F. Barbero^{1,2}, I. Cermeño^{1,2}, A. Lucía^{1,2}, C. Martín Moreno^{1,2} y I. Zapico^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. josefco@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

El término 'Cambio Global' refiere, normalmente, a variaciones que alteran las capas fluidas del Sistema Tierra (atmósfera y océanos) y que por tanto son experimentadas globalmente. También hace alusión a cambios que ocurren localmente pero que son tan comunes que constituyen un Cambio Global. Las modificaciones mencionadas con frecuencia en este contexto son los que ocurren en el clima, en el ozono estratosférico, la lluvia ácida, la contaminación urbana, la biodiversidad, y la composición y circulación de la atmósfera y los océanos. Sin embargo, la transformación y degradación de la superficie terrestre continental casi siempre se pasa por alto en esta argumentación. Todo ello a pesar de que existan ya múltiples evidencias de que estos cambios y transformaciones del territorio pueden ser el componente más significativo del Cambio Global en las próximas décadas.

La superficie terrestre es alterada, y comúnmente degradada, por muchas de nuestras actividades: agricultura, minería, construcción de edificios, carreteras, diques, embalses y muchos otros usos que requieren mover tierras. También la deforestación está incluida entre esas actividades.

De hecho, es difícil pensar en alguna actividad humana que se desarrolle sobre la superficie terrestre continental, que no sea recreativa, que no implique mover tierras o realizar cambios fundamentales en la cubierta vegetal. Dichos cambios normalmente reemplazan unos ecosistemas que han contribuido a generar suelos fértiles con otros que no lo hacen posible. A su vez, la degradación del suelo debilita los ecosistemas sobre los que depende prácticamente toda la vida terrestre.

En este marco, nuestro grupo de trabajo sobre *Transformación del Territorio y Cambio Global*, incluido dentro de la sublínea sobre *Paleoclimatología y Cambio Global*, tiene como uno de sus objetivos fundamentales la cuantificación tanto de esa transformación territorial como de sus efectos geo-ecológicos.

A partir de nuestras investigaciones, argumentamos y divulgamos que la transformación de la superficie terrestre continental, o transformación del territorio, debería incluirse como uno de los temas centrales del Cambio Global.

Puede parecer que estos temas están, de alguna manera, fuera del ámbito 'normal' de las Ciencias Geológicas. Así, la deforestación de un bosque, el laboreo mecánico para cultivar un suelo, construir edificios, extraer minerales o pavimentar una carretera no se consideran, habitualmente, temas 'geológicos'. Y sin embargo, mediante esas acciones, la actividad humana se ha convertido en el principal agente geológico que modifica la Superficie Terrestre. En este marco, nuestro grupo de trabajo se propone incluir la transformación del territorio por actividades humanas dentro de la corriente dominante de las investigaciones más modernas en Geología y Geomorfología.

Sobre esta base, también hemos desarrollado y desarrollamos herramientas para conservar, recuperar y restaurar ecosistemas degradados, siempre desde un enfoque geo-ecológico. Éstos incluyen: restauración geomorfológica de espacios afectados por minería de superficie (Martín Duque et al 2010); establecimiento de criterios para la restauración ecológica y la integración ambiental de las infraestructuras de transporte (Martín Duque et al 2011); la conservación del suelo frente a los procesos naturales o antrópicos de degradación, tales como la erosión hídrica (de Alba et al 2009) o la erosión mecánica (de Alba et al 2004), respectivamente.

Para todos estos objetivos, nuestro grupo de trabajo dispone desde 1992, y puede aportar como contribución al IGEO, la excepcional Finca Experimental sobre Erosión del Suelo en Paisajes Agrícolas Mediterráneos de *La Higuera* (Toledo). Esta Finca Experimental representa hoy en día una referencia internacional muy importante en este tema, a la vez que ha incorporado nuevos diseños experimentales, como la réplica y seguimiento de taludes de infraestructuras lineales.

Agradecimientos

Todas estas iniciativas de investigación han sido y están siendo desarrolladas en el marco de diversos proyectos de investigación, entre los que destacan CGL2010-21754-CO2-01 (MICINN), CLEAM-CENIT (CDTI, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITC), REMEDINAL 2 (Comunidad de Madrid), la financiación desde 1992 del Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y diversos contratos de investigación (1995-2011) en el marco de la Contribución Española al Desarrollo del Convenio Mundial para Prevenir la Desertificación del Ministerio de Medio Ambiente (Red de cuencas y parcelas experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y la desertificación RESEL, del Proyecto LUCDEME).

Y encuentran, a su vez, un marco docente adecuado de enseñanza superior en el Máster inter-universitario en Restauración de Ecosistemas, en el cual colaboramos activamente (Benayas et al 2010).

Referencias

- Benayas, J.M., Escudero, A., Martín Duque, J.F., Nicolau, J.M., Villar, P., García de Jalón, D., Balaguer, L. (2010) A multi-institutional Spanish Master in Ecosystem Restoration: vision and four-year retrospective. *Ecological Restoration* 28(2), 188-192.
- De Alba, S., Alcázar, M., Lacasta, C., Benito, G. (2009) Water Erosion on Agricultural Lands in a Mediterranean Semiarid Climate in Central Spain. En: *Land Degradation and Rehabilitation. Dryland Ecosystems*, A. Faz Cano, A.R. Mermut, J.M. Arocena y R. Ortiz (eds.). Catena Verlag, Advances in GeoEcology, 40, pp 27-36.
- De Alba, S., Lindstrom, M., Schumacher, T.E., Malo, D.D. (2004) Soil landscape evolution due to soil redistribution by tillage: A new conceptual model of soil catena evolution in agricultural landscapes. *Catena* 58, 77-100.
- Martín Duque, J.F., Sanz, M.A., Bodoque, J.M., Lucía, A., Martín Moreno, C. (2010) Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes. *Earth Surface Processes and Landforms* 35, 531-548.
- Martín Duque, J.F., de Alba, S., Barbero, F. (2011) Consideraciones geomorfológicas e hidrológicas. En: *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas*, F. Valladares, L. Balaguer, I. Mola, A. Escudero y V. Alfaya (eds.), Fundación Biodiversidad, Madrid, pp. 44-72.

Análisis de la variabilidad climática en escalas interanuales a multidecadales y dinámica de la circulación atmosférica

J. Barroso¹, J. Blanco¹, I. Gomara¹, J. López Parages¹, T. Losada², M. Martín del Rey¹, E. Mohino¹, I. Polo³, B. Rodríguez-Fonseca^{1,4} y P. Zurita^{1,4}

¹Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. brfonsec@fis.ucm.es

²Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad Castilla-La Mancha, Toledo, España.

³NCAS-Climate Division, Department of Meteorology, University of Reading, PO Box 243, Earley Gate, RG66BB, Beckshire, Reading, UK.

⁴Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

La variabilidad del clima y la dinámica tanto atmosférica como oceánica subyacente a la anterior, se estudia en el Departamento de Geofísica y Meteorología. Por un lado, el grupo dirigido por el Dr. Pablo Zurita Gotor, estudia la dinámica atmosférica interna, mientras que el grupo TROPA, dirigido por la Dra. Belén Rodríguez de Fonseca, estudia dicha variabilidad bajo forzamientos externos, fundamentalmente oceánicos y de gases invernadero. Las escalas temporales abarcan desde eventos intra-estacionales hasta variabilidad multidecadal y los estudios se realizan tanto con observaciones como con modelos de circulación general y modelos idealizados. En particular, el grupo TROPA (<http://trope.fis.ucm.es>) está interesado en variabilidad climática en escalas regionales y globales. El grupo trabaja en las siguientes líneas: variabilidad climática en el trópico, incluyendo interacciones aire-oceano en dicha región, teleconexiones atmosféricas asociadas a forzamientos oceánicos, modelización climática y teleconexiones atmosféricas asociadas a forzamientos antropogénicos (Rodríguez-Fonseca et al 2005).

En el trópico, TROPA tiene experiencia en interacciones aire-océano en la región Atlántica (Polo et al 2005, Polo et al 2008a y 2008b), en el fenómeno de El Niño (Rodríguez-Fonseca et al 2009) y en la variabilidad del Monzón de África Occidental (Polo et al 2008, García-Serrano et al 2008); describiendo la influencia de las diferentes cuencas oceánicas (Pacífica, Mediterránea y Atlántica) y los mecanismos dinámicos involucrados en dicha variabilidad (Mohino et al 2011a, Fontaine et al 2010, Losada et al 2010a y 2010b). Asimismo, se ha determinado la existencia de una modulación multidecadal de los modos de variabilidad interanual de la lluvia en el África occidental (Rodríguez-Fonseca et al 2010, Mohino et al 2011b).

Más recientemente se ha estudiado la variabilidad decadal del Monzón y su forzamiento oceánico asociado (Mohino et al 2011c). Fuera del trópico, se han estudiado las teleconexiones atmosféricas relacionadas con la variabilidad pluviométrica en Europa y región Mediterránea (Rodríguez-Fonseca et al 2006, Losada et al 2007, García-Serrano et al 2011a y 2011b, Losada et al 2011).

Todos estos estudios se han realizado tanto con observaciones como con modelos globales con objeto de estudiar la dinámica asociada a las teleconexiones observadas. El grupo TROPA ha dirigido y trabajado activamente en proyectos nacionales y europeos, manteniendo colaboraciones activas con un gran número de instituciones y universidades nacionales e internacionales.

Otra línea de investigación del grupo, liderada por el Dr. Pablo Zurita Gotor, aborda el estudio de la dinámica de la circulación atmosférica de gran escala y su variabilidad no forzada. El objetivo de este trabajo es entender los procesos dinámicos involucrados en la determinación de algunos aspectos fundamentales de la circulación general, tales como la posición e intensidad de la corriente en chorro (Chen y Zurita-Gotor 2008, Frierson et al 2007), la magnitud del gradiente térmico extratropical (Zurita-Gotor y Vallis 2009 y 2010), la altura de la tropopausa (Zurita-Gotor y Vallis 2011), o la persistencia de los modos anulares de variabilidad (Blanco-Fuentes y Zurita-Gotor 2011). Nuestra investigación se centra en las latitudes medias, en las cuales los transportes de calor y momento ocurren de forma turbulenta en perturbaciones baroclínicas de gran escala.

El elemento fundamental de la circulación extratropical es la stormtrack, pues es en esta región, asociada al frente polar, donde se generan preferentemente las tormentas extratropicales y alcanzan su máximo los transportes de calor y momento. Este es un problema no lineal y extraordinariamente complejo, pues la posición e intensidad del frente polar es a su vez dependiente del transporte debido a estas perturbaciones, de forma que aún existen muchos aspectos de las stormtracks pobremente entendidos (e.g., Chang y Zurita-Gotor 2007). Gran parte de la variabilidad interna extratropical resulta de esta interacción no lineal entre las perturbaciones y el estado básico (e.g., Blanco-Fuentes y Zurita-Gotor 2011).

En ocasiones se cuestiona la necesidad de entender la dinámica de la circulación general atmosférica en vista de que las simulaciones climáticas actuales son capaces de reproducir dicha circulación con bastante realismo. Sin embargo, es importante notar que las parametrizaciones físicas empleadas en los modelos climáticos han sido optimizadas para reproducir el clima actual y que dichos modelos son incapaces de reproducir algunos episodios climáticos del pasado. Por este motivo, entender los mecanismos dinámicos involucrados en la determinación del clima es fundamental para conferir significación física a los resultados de nuestras simulaciones con modelos climáticos.

Agradecimientos

En la actualidad estas investigaciones están siendo financiadas por los proyectos GR58/08A/910437) del Banco Santander /UCM y los proyectos nacionales TRACS GL2009-10285 y DE VIAJE (CGL2009-06944) del Ministerio español de Ciencia e Innovación, así como por la Acción Estratégica MOVAC 200800050084028 del MMAMM.

Referencias

- Blanco-Fuentes, J. Zurita-Gotor, P. (2011) The Driving of Baroclinic Anomalies at Different Timescales. *Geophysical Research Letters* (enviado).
- Chang, E.K.M., Zurita-Gotor, P. (2007) Simulating the Seasonal Cycle of the Northern Hemisphere Storm Tracks Using Idealized Nonlinear Storm Track Models. *Journal of the Atmospheric Sciences* 64, 2309-2331.
- Chen, G., Zurita-Gotor, P. (2008) The Tropospheric Jet Response to Prescribed Zonal Forcing in an Idealized Atmospheric Model. *Journal of the Atmospheric Sciences* 65, 2254-2271.
- Fontaine, B., García-Serrano, J., Roucou, P., Rodríguez-Fonseca, B., Losada, T., Chauvin, F., Gervois, S., Sivarajan, S., Ruti, P., Janicot, S. (2009) Impacts of Warm and Cold situations in the Mediterranean Basins on the West African monsoon: observed connection patterns (1979-2006) and climate simulations. *Climate Dynamics* (doi:10.1007/s00382-009-0599-3).
- Frierson D.M.W., Held, I.M., Zurita-Gotor, P. (2007) A Gray-Radiation Aquaplanet Moist GCM. Part II: Energy Transports in Altered Climates. *Journal of the Atmospheric Sciences* 64, 1680-1693.
- García-Serrano, J., Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I. (2008) Tropical Atlantic Variability modes (1979-2001). Part II: time-evolving atmospheric circulation related to SST-forced. *Journal of Climate* (doi:10.1175/2008JCLI2191.1).
- García-Serrano, J., Rodríguez-Fonseca, B., Camara, A., Bladé, I., Zurita, P. (2011) Rotational atmospheric circulation during North Atlantic-European winter: the influence of ENSO. *Climate Dynamics* (doi:10.1007/s00382-010-0968-y).
- García-Serrano, J., Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B. (2011) Extratropical Atmospheric Response to the Atlantic Niño decaying phase. *Journal of Climate* (doi:10.1175/2010JCLI3640.1).
- Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B., Ma, H.Y.B., Mechoso, C.R. (2007) Impacts of SST Anomalies on the North Atlantic Atmospheric Circulation: A case study for the Northern Winter 1995/96. *Climate Dynamics*, 15.
- Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B., Janicot, S., Gervois, S., Chauvin, F., Ruti, P. (2010) A multimodel approach to the Atlantic ecuatorial mode. Impact on the West African monsoon. *Climate Dynamics* (doi:10.1007/s00382-009-0625-5).
- Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., Janicot, S., Gervois, S., Chauvin, F., Ruti, P. (2010) Tropical response to the Equatorial Mode. AGCM multimodel approach. *Climate Dynamics* (doi:10.1007/s00382-009-0624-6).
- Mohino, E., Rodríguez-Fonseca, B., Mechoso, C.R., Gervois, S., Ruti, P., Chauvin, F. (2011a) Impacts of the Tropical Pacific/Indian oceans on the seasonal cycle of the West African Monsoon. *Journal of Climate* 24, 3878-3891.
- Mohino, E., Rodríguez-Fonseca, B., Losada, T., Gervois, S., Janicot, S., Bader, J., Ruti, R., Chauvin, F. (2011b) Changes in the interannual SST-forced signals on West African rainfall. AGCM intercomparison. *Climate Dynamics* (doi:10.1007/s00328-011-1093-2).
- Mohino, E., Janicot, S., Bader, J. (2011c) Sahel rainfall and decadal to multi-decadal sea surface temperature variability. *Climate Dynamics* 37, 419-440.

- Polo, I., Rodríguez-Fonseca, B., Sheimbaum, J. (2005) On the role of the Mauritanian upwelling on the north Atlantic climate variability. *Geophysical Research Letters* (doi:10.1029/2005GL023883).
- Polo, I., Lazar, A., Rodríguez-Fonseca, B., Arnault, S. (2008) Oceanic Kelvin Waves and Tropical Atlantic Intraseasonal Variability. Part I: Kelvin Wave Characterization. *Journal of Geophysical Research-Oceans* (doi:10.1029/2007JC004495).
- Polo, I., Rodríguez-Fonseca, B., Losada, T., García-Serrano, J. (2008) Tropical Atlantic Variability modes (1979-2001). Part I: time-evolving SST modes related to West African rainfall. *Journal of Climate* (doi:10.1175/2008JCLI2607.1).
- Rodríguez-Fonseca, B., Sanchez, E., Arribas, A. (2005) Analysis of regional changes in seasonal precipitation patterns under increased greenhouse conditions. *Geophysical Research Letters* 32, L13702-L13704 (doi:10.1029/2005GL022800).
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., Serrano, E., Castro, M. (2006) Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the European and northern African winter climate. *International Journal of Climatology* 26, 179-191.
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., García-Serrano, J., Losada, T., Mohino, E., Mechoso, C.R., Kucharski, F. (2009) Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades?. *Geophysical Research Letters* 36, L20705 (doi:10.1029/2009GL040048).
- Rodríguez-Fonseca, B., Janicot, S., Mohino, E., Losada, T., Bader, J., Caminade, C., Chauvin, F., Fontaine, B., García-Serrano, J., Gervois, S., Joly, M., Polo, I., Ruti, P., Roucou, P., Voldoire, A. (2010) Interannual and decadal SST-forced responses of the West African monsoon. *Atmospheric Science Letters* (doi:10.1002/asl.308).
- Zurita-Gotor, P., Vallis, G.K. (2009) Equilibration of baroclinic turbulence in primitive-equation and quasi-geostrophic models. *Journal of the Atmospheric Sciences* 66, 837-863.
- Zurita-Gotor, P., Vallis, G.K. (2010) Circulation Sensitivity to Heating in a Simple Model of Baroclinic Turbulence. *Journal of the Atmospheric Sciences* 67, 1543-1558.
- Zurita-Gotor, P., Vallis, G.K. (2011) Dynamics of Midlatitude Tropopause Height in an Idealized Model. *Journal of the Atmospheric Sciences* 68, 823-838.

Línea de Investigación Geomateriales

Sublíneas:

Deterioro y Conservación de Materiales
Geológicos del Patrimonio

Sublínea Procesos de Formación Mineral

Deterioro y Conservación de Materiales Geológicos del Patrimonio

R. Fort¹, A. la Iglesia¹, M.A. García del Cura¹, M. Álvarez de Buergo¹, M.J. Varas^{1,2}, M. Gómez-Heras^{1,2}, P. López-Arce¹, L. Gómez-Villalba¹, E.M. Pérez-Monserrat¹, C. Vázquez-Calvo¹, D.M. Freire¹, A. Zornoza-Indart¹ y M.I. Martínez-Garrido^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. rafael.fort@csic.es

²Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

La actividad investigadora desarrollada por el Instituto de Geociencias en el campo del deterioro y conservación de materiales geológicos parten siempre de la caracterización petrológica y mineralógica de los materiales utilizados en el patrimonio. Se utilizan técnicas petrográficas, geoquímicas y petrofísicas, con apoyo de técnicas mineralógicas y cristalográficas para establecer su estado de conservación y definir las causas de alteración. Los avances del conocimiento se dirigen a establecer la interrelación entre las propiedades de los materiales pétreos, tanto de superficie como internas, con el medio ambiente. Desde la petrología y la mineralogía experimental se abordan problemas referentes a la mejora de productos de conservación, en base a sus características petrofísicas y a su comportamiento en ambientes agresivos. Con estas investigaciones se pueden determinar las técnicas de conservación más eficaces e idóneas para cada tipo de material y ambientes a los que se encuentran sometidos los materiales. Por lo tanto, la investigación se inicia con la caracterización, continúa estableciendo las causas de deterioro y, por último, ofrece soluciones para mejorar la calidad de los materiales e incrementar su durabilidad, desarrollando técnicas de conservación que han generado patentes.

Introducción

La naturaleza aporta a la sociedad importantes recursos geológicos que son utilizados, tras un proceso de elaboración más o menos complejo, como geomateriales para ingeniería civil, edificación, materiales avanzados, conservación del patrimonio, medio ambiente, etc. Estos materiales sufren procesos de alteración que se incrementan en ambientes agresivos, disminuyendo su calidad con el paso del tiempo. La petrología, la mineralogía y la cristalografía son la base científica para conocer las causas de deterioro de los geomateriales y establecer las técnicas más adecuadas para mejorar sus cualidades e incrementar su durabilidad (Fort et al 2008). Por lo tanto, las investigaciones que se realizan parten del conocimiento básico de estos materiales, de las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidos y de los procesos de alteración que sufren, para poder efectuar a continuación investigaciones aplicadas a su conservación, definiendo las técnicas de limpieza, consolidación, protección y monitorización más adecuadas.

Además del uso de técnicas petrográficas, petrofísicas y geoquímicas tradicionales, las investigaciones se dirigen a validar técnicas no destructivas o mínimamente invasivas y/o portátiles que son de gran interés en la conservación del patrimonio, tales como la técnica de la propagación de ultrasonidos, espectrofotometría, esclerometría, magnetometría, termografía de infrarrojos, fluorescencia de rayos-X portátil, uso de redes de sensores inalámbricos, etc., así como las más novedosas de resistencia a la micro-perforación (Drilling Resistance Measuring System, DRMS) o la rugosimetría óptica 3D. También, en los últimos años se están empleando técnicas que están siendo de gran utilidad, como son las espectroscopías láser ópticas (Laser Induced Fluorescence, LIF, y Laser Induced Breakdown Spectroscopy, LIBS), y las espectroscopías láser vibracionales (micro-Raman y Fourier Transform Raman) además de Micro-tomografía Computerizada de Rayos-X (μ CT-XR), Tomografía de Neutrones y Resonancia Magnética Nuclear (RMN).

Las infraestructuras que se usan son las disponibles en la Unidad Técnica de Caracterización Físico-Química de Materiales, principalmente del Laboratorio de Petrofísica y de la Sección de Microscopía y Mineralogía del Instituto de Geociencias, en el Laboratorio de Petrología Aplicada (Unidad Asociada Universidad de Alicante-CSIC) y en los Centros de Asistencia a la Investigación de la UCM, así como las técnicas disponibles en los grupos de investigación con los que se colabora.

La cooperación entre grupos de investigación ha permitido incrementar nuestra competitividad y poder desarrollar proyectos más ambiciosos como son “Tecnologías para la conservación y revalorización del Patrimonio Cultural” perteneciente al Programa CONSOLIDER del MINCIN y “Durabilidad y conservación de Geomateriales del patrimonio construido” (Programa Geomateriales) perteneciente a Grupos de Investigación de la Comunidad de Madrid. También, las investigaciones realizadas se encuadran dentro del Campus de Excelencia Internacional CEI-Moncloa, en donde se participa a través del grupo de Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio en el Clúster de Patrimonio.

Caracterización de materiales

Además de la caracterización petrográfica y geoquímica, la determinación de las propiedades petrofísicas de los geomateriales aporta una información muy importante para conocer las causas de su deterioro y definir su calidad y durabilidad ante diferentes ambientes. Ejemplos destacables de los geomateriales estudiados son los granitos, pizarras y rocas carbonáticas que configuran el sustrato geológico de la Comunidad de Madrid. Se ha demostrado la influencia que tiene la anisotropía en el comportamiento hídrico de los geomateriales y en su durabilidad frente a diferentes agentes de deterioro (Freire et al 2010, Fort et al 2011). También se estudia la influencia de la mineralogía, textura y sistema poroso en la durabilidad de las rocas utilizadas en construcción (Benavente et al 2004, Benavente et al 2006).

La validación de técnicas no destructivas o mínimamente invasivas, estableciendo los parámetros más adecuados para la caracterización de las rocas ha permitido utilizarlas en trabajos de campo. Un ejemplo son los estudios sobre el comportamiento de las ondas ultrasónicas al atravesar materiales pétreos, siendo la velocidad de propagación de los ultrasonidos (V_p) y la atenuación espacial (α_e) los parámetros más útiles para discriminar los resultados obtenidos (Martínez-Martínez 2011a y 2011b). Estos estudios también tienen su utilidad a la hora de determinar los índices de anisotropía de las rocas y los grados de alteración en base a dichos parámetros, así como para establecer su evolución con el paso del tiempo ante agentes de deterioro diferentes (Vazquez-Calvo et al 2010).

El uso de equipos de espectroscopía Raman portátiles ha permitido comprobar la validez de esta técnica para la caracterización de muestras geológicas, mediante la identificación de compuestos, que pueden causar su deterioro, como las eflorescencias, subeflorescencias y criptoeflorescencias salinas (Lopez-Arce et al 2011a). Esta caracterización in-situ permite obtener un mayor número de análisis composicionales y la diferenciación entre diferentes estados de hidratación de algunos compuestos.

Por otra parte, se ha desarrollado una metodología petrológica que permite, en base a las propiedades de los materiales y a la geología regional del entorno, localizar canteras históricas o la formación geológica de la que se extrajeron los sillares de un monumento, siempre con el apoyo de los antecedentes históricos (Fort et al 2010). También se realizan las propuestas de selección más adecuadas de materiales a ser utilizados en una obra, atendiendo a las condiciones específicas en las que van a ser colocados y en base a los criterios de idoneidad, compatibilidad y durabilidad.

Durabilidad de materiales en ambientes agresivos

Conociendo las propiedades de los materiales se puede abordar el análisis de los fenómenos de transporte de fluidos en estado líquido o gaseoso (difusión, permeabilidad y sorción), la transferencia térmica y los procesos de fisuración, los cuales permiten entender la alteración de los materiales. Los ensayos de simulación posibilitan comprender y predecir el comportamiento de los geomateriales con respecto a los procesos de deterioro físico, químico, biológico y mecánico, así como establecer su durabilidad ante ambientes agresivos. La monitorización permitirá el seguimiento de la evolución del deterioro de los materiales en el tiempo. El apoyo de la petrología y mineralogía experimental es la base de estas investigaciones. De las actividades que realiza el grupo de investigación, se resaltan las indicadas a continuación.

La cristalización de sales es uno de los mecanismos de alteración más importantes y agresivos que puede sufrir un material, especialmente si es poroso. Para conocer y evitar los procesos de deterioro de estos materiales y plantear diferentes soluciones que permitan su prevención o tratamiento, es fundamental identificar los diferentes tipos y fuentes de procedencia de las sales que intervienen, así como las características químicas, mineralógicas y petrofísicas de los materiales afectados (Lopez-Arce 2010b).

El conocimiento y control de las condiciones climáticas donde tiene lugar este proceso de degradación es igualmente importante, ya que de ellas también depende la cinética de los procesos de disolución, cristalización, deshidratación e hidratación de las sales implicadas y, por tanto, la cinética del deterioro.

Las rocas más susceptibles a la meteorización por cristalización de sales son aquellas con mayor porosidad y coeficiente de adsorción, con mayor número de microporos y con propiedades mecánicas bajas.

Las técnicas y métodos para extraer sales de los materiales deben combinarse con metodologías o estrategias preventivas que eviten la infiltración de agua y humedad y, por tanto, la disolución y precipitación de las sales. El grupo promueve la investigación hacia estrategias preventivas que controlen el ambiente, evitando el daño por cristalización de sales (especialmente hidratadas) debido a fluctuaciones de temperatura y humedad relativa (López Arce et al 2011c).

La contaminación atmosférica que rodea a un elemento patrimonial supone la principal causa responsable del enmugrecimiento de los paramentos y la formación de costras negras. Los geomateriales experimentan procesos químicos y físicos, consistentes en la sulfatación de las superficies y en su progresivo ensuciamiento debido a la deposición de partículas sólidas de contaminación (PSC).

Así, la respuesta de la caliza al ataque por SO_2 ha sido analizada en función de la concentración de ácido sulfuroso (H_2SO_3), considerando si la deposición del SO_2 es sobre piedra seca o saturada en agua, teniendo presente el acabado superficial de la caliza y la existencia o no sobre la misma de PSC. Todo ello analizando tratamientos de protección orgánicos aplicados en fachadas, observándose que los resultados son más efectivos en ambientes húmedos que en ambientes secos, y que los tratamientos no detienen el proceso de sulfatación en el interior del material.

La influencia del calor radiante y los cambios de temperatura en la meteorización y deterioro de las rocas ha sido objeto de discusión en el ámbito de la geomorfología y petrología aplicada al patrimonio (Gomez-Heras et al 2006). El grupo de investigación ha demostrado que la meteorización por insolación es un proceso lento (Gomez-Heras et al 2008a) pero que la influencia de los ciclos cortos de temperatura en el rango ambiental como resultado del calor radiante en otros agentes y procesos deterioro es muy relevante (Gomez-Heras y Fort 2007).

A diferencia de otros agentes de meteorización que necesitan periodos de tiempo muy largos para producir un deterioro apreciable en las rocas, el fuego es capaz de producir un deterioro notable en las rocas en pocos minutos por el rápido e intenso aumento de temperatura alcanzado (Gomez-Heras et al 2009). Además, el fuego puede acelerar el proceso de deterioro de los materiales a largo plazo al introducir discontinuidades en el interior del material, que son explotadas por otros agentes de deterioro como las sales o el hielo y deshielo, creando historias complejas de agentes de deterioro.

El grupo de investigación ha prestado especial atención a los cambios a pequeña escala y a las relaciones entre mineralogía y efectos producidos por los incendios (Gomez-Heras et al 2009).

Los cambios de fase de cuarzo y feldespatos en la dinámica de los procesos de fracturación del material durante un incendio, así como su influencia a largo plazo a través de la modificación de las pautas de argilitización de los feldespatos es un tema tratado. Los modelos de fracturación se están analizando por técnicas petrográficas y ultrasónicas, midiendo no sólo la V_p de las ondas ultrasónicas, sino otros parámetros como la amplitud de las ondas, que están permitiendo entender el comportamiento de los materiales ante estos ambientes tan agresivos.

Un avance importante del grupo ha sido la propuesta del uso de técnicas basadas en láser de infrarrojos para poder simular las condiciones de un fuego en muestras muy pequeñas, de tal manera que se pueden realizar ensayos basados en calor radiante que reflejan mejor los procesos que tienen lugar durante un fuego natural, al contrario que ocurre con el uso de hornos de combustión (Gomez-Heras et al 2008b).

Otra investigación relevante que se ha iniciado es el uso de técnicas de datación absoluta y de cálculo de las temperaturas máximas alcanzadas durante un incendio y la distribución de la temperatura en los edificios históricos que han sufrido incendios. Estos datos otorgan una importante información forense, ya que puede determinarse el tipo de combustible, los focos del fuego y su propagación, todo ello apoyado con las transformaciones que se observan en la roca afectada, teniendo presente que los efectos varían según las propiedades petrológicas de los materiales (Gomez-Heras y Sanjurjo Sánchez 2011).

Los cambios bruscos de temperatura pueden producirse debido al empleo de diferentes sistemas de calefacción por emisión de aire caliente en el interior de edificios de uso religioso. La fuerte y rápida elevación de la temperatura de algunos sistemas, puede provocar variaciones inducidas en los microclimas e influir sobre el estado de conservación de los geomateriales al interactuar con otros agentes, tanto ambientales (vapor de agua, sales, viento, etc.) como contaminantes (gases, partículas sólidas, etc.), y provocando procesos de deterioro como condensación y evaporación (ciclos de humedad-sequedad), estratificación térmica (corrientes convectivas), disolución-hidratación y cristalización (sales), colonización biológica (hongos, bacterias, líquenes,...), etc., y originando diversas formas de deterioro, como costras de suciedad, alveolización, zonación de humedades, eflorescencias y subeflorescencias salinas, disgregaciones, cambios cromáticos, colonización biológica, etc.

Los efectos que tienen sobre los geomateriales las variaciones térmicas y otros parámetros microclimáticos están siendo analizados en diferentes edificios. Para ello, el grupo está desarrollando un novedoso sistema de monitorización continua mediante el uso de tecnologías inalámbricas como son las Wireless Sensor Networks (WSNs). A través de dicho sistema se monitorizan, tanto en el interior como en el exterior del edificio, parámetros micro-climáticos, físicos y de contaminación atmosférica (Martínez-Garrido et al 2011a y 2011b), que posibilitarán analizar el impacto que las variaciones de los parámetros registrados tienen en la conservación de los diferentes materiales bajo estudio. El empleo de esta técnica mínimamente invasiva permitirá además modelar las diferentes causas de deterioro a través de las técnicas de procesamiento de datos que se están desarrollando, hecho que facilitará la actuación preventiva sobre los diferentes escenarios de actuación.

También se están desarrollando técnicas de termografía por infrarrojos que son muy útiles para evaluar la temperatura superficial de los materiales y, sobre todo, en series de imágenes termográficas en las que el material ha sufrido un calentamiento y enfriamiento, diferencias en la inercia térmica que pueden estar relacionadas con planos de desprendimiento no visibles o con la presencia de humedad y/o sales.

Otras condiciones agresivas para los materiales tienen lugar cuando estos proceden o han estado expuestos a medios subacuáticos. Su extracción y paso al medio aéreo origina una segunda fase de procesos de deterioro que pueden acabar con la destrucción de los mismos, ya que las condiciones físico-químicas del medio son totalmente diferentes. Un paso importante para la conservación de materiales procedentes de ambientes sumergidos es su proceso de desalinización y su consolidación (Zornoza-Indart et al 2011a y 2011b). Para llevar a cabo las investigaciones desarrolladas en este ámbito se está llevando a cabo un trabajo experimental, en colaboración con la Universidad de Cádiz, sumergiendo en distintos ambientes marinos probetas de geomateriales (mármoles, calizas y cerámicas) con distintas propiedades petrológicas, para estudiar los procesos de deterioro y determinar los métodos de desalación más adecuados. Estas técnicas serán aplicadas en materiales de valor patrimonial en colaboración con el Centro de Arqueología Subacuática de Catalunya (España).

Conservación de materiales pétreos

Dentro del estudio de los geomateriales, la evaluación de las características y propiedades superficiales resulta de especial relevancia, pues la superficie exterior es la que en la mayoría de ocasiones interacciona con otros medios o agentes externos, protegiendo en muchos casos el interior del material.

El análisis de las propiedades de superficie de los materiales se aborda en nuestro grupo de investigación desde diferentes escalas (macro, micro y nanométrica), para poder valorar su incidencia durante el proceso de deterioro y estudiar cómo se modifican con tratamientos de conservación, mejorando además su durabilidad. Si se conocen estas propiedades, sus modificaciones y evolución con el tiempo, será posible conocer los tratamientos más adecuados a las propiedades de los materiales y que posibiliten un incremento de su durabilidad frente a los procesos de deterioro.

De esta forma se valoran los efectos de diferentes técnicas de limpieza sobre los materiales sometidos a la contaminación atmosférica, a los efectos del ensuciamiento provocado por incendios, a la existencia de eflorescencias, sub- y criptoflorescencias salinas y a la colonización biológica, para determinar el método más adecuado y que no genere daños secundarios sobre los materiales a proteger (Pérez-Monserrat et al 2011). La presencia de sales en el sistema poroso de los materiales pétreos es uno de los mayores problemas para la conservación del patrimonio. A pesar que se han desarrollado multitud de métodos para evitar o minimizar su daño, hoy en día la extracción de las sales sigue sin resolverse, debido a la poca eficacia o inviabilidad de los tratamientos de desalación. Desde el IGEO se están ensayando diferentes técnicas para mejorar la eficacia del proceso, dirigiendo los estudios hacia el diseño específico de papetas y de morteros de sacrificio. Estas técnicas tienen que ir acompañadas por actuaciones preventivas, que eviten la incorporación de nuevas sales, y por un control de las condiciones medio ambientales, que minimice los ciclos continuos de cristalización y disolución de las distintas fases salinas que generan fatigas en el sistema poroso de la roca, fisurándola y haciéndola perder cohesión.

También se estudia la biorreceptividad de las rocas para ser colonizadas por los microorganismos, en colaboración con otros grupos de investigación. Las propiedades petrológicas y mineralógicas de los materiales influyen directamente en el proceso de biodeterioro (Cámara et al 2008, de los Ríos et al 2009), estableciéndose las pautas más adecuadas para evitar la colonización por medio de tratamientos a base de biocidas (Cámara et al 2011).

El grupo de investigación ha sido uno de los primeros en el ámbito nacional que ha utilizado técnicas petrológicas para valorar la eficacia, idoneidad y durabilidad de los tratamientos de consolidación y protección de los materiales (Alvarez de Buergo et al 2004). Aunque dentro de los trabajos que lleva a cabo el grupo se analizan diferentes tipos de tratamientos basados en polímeros sintéticos (Domingo et al 2008), un estudio de alto valor científico es el de la protección de materiales pétreos con pátinas de oxalato de calcio y fosfato de calcio.

Estos tratamientos, que se consideran tradicionales al haber sido utilizados desde la antigüedad, son muy eficaces y duraderos ya que se han conservado hasta nuestros días, manteniendo en muchos casos su función protectora allí donde se preservan. Esta función protectora es debida a que el oxalato de calcio presenta una mayor resistencia al ataque ácido y de los álcalis que la roca, además de tener menor porosidad y mayor dureza que ésta.

Para conocer las cualidades de estas pátinas se han estudiado varios monumentos localizados en la Península Ibérica de distintas épocas (Vazquez-Calvo et al 2007a), que ha permitido contrastar distintas teorías sobre el origen, color, mineralogía, microestratigrafía y composición química de las pátinas existentes (Vazquez-Calvo et al 2007b). Otro aspecto ha sido valorar la idoneidad de técnicas no destructivas, como el LIBS o Fluorescencia de Rayos X por Energía dispersiva (EDXRF), en el estudio de este tipo de recubrimientos, indicando las condiciones más adecuadas de las medidas (Vázquez-Calvo et al 2007c y 2008).

Uno de los objetivos principales de esta investigación es reproducir las pátinas analizadas, con la intención de recuperar la técnica tradicional utilizada y, si esta resulta efectiva, utilizarla en elementos modernos. El objetivo es reproducir las pátinas con todos sus constituyentes, lo que implica no sólo la reproducción del oxalato de calcio sino también de los fosfatos de calcio, que aparecen en muchas de estas pátinas, y de los pigmentos utilizados para otorgar el color. En base a los resultados de las pátinas históricas analizadas y de los estudios histórico-bibliográficos realizados, se elaboraron alrededor de 30 mezclas de recubrimiento utilizando diversos componentes. Como resultado se obtuvieron algunas mezclas que presentaban características petrográficas y mineralógicas similares a las pátinas históricas estudiadas. El recubrimiento de mayor eficacia y durabilidad se ha patentado (nº número de registro P200702293).

Desde 2009 se están realizando trabajos sobre tratamientos de conservación para materiales pétreos basados en nanopartículas. Dentro de este campo se han conseguido importantes avances utilizando nanopartículas basadas en Ca(OH)_2 , distribuidas comercialmente, para obtener CaCO_3 , el cual actúa sobre la roca carbonática modificando la estructura porosa y restaurando la cohesión perdida. Como resultado de estas investigaciones se ha determinado el efecto que tiene sobre la consolidación de los materiales pétreos la humedad relativa y el tiempo de exposición (López-Arce et al 2010a, Gomez-Villalba et al 2011d). Además de evaluar el efecto de los consolidantes sobre la piedra, es importante determinar la estabilidad y el comportamiento de los propios productos comerciales ante estos mismos factores, dado que se ha determinado que estas variables influyen en el

proceso de carbonatación y, por tanto, pueden tener un efecto diferente según las condiciones ambientales (Gomez-Villalba et al 2011a, 2011b, López-Arce et al 2011). Por otro lado, la vinculación con grupos dedicados a la síntesis de nanopartículas ha permitido avanzar en el diseño de nuevos nanomateriales para ser utilizados como autolimpiantes que permitan frenar el biodeterioro o en nuevos consolidantes para ser aplicados a materiales pétreos (Gomez-Villalba et al 2011c). Dentro de las nuevas perspectivas se viene trabajando en ampliar las investigaciones para estudiar los mecanismos de interacción entre los nanomateriales y las superficies considerando diferentes aspectos, tales como el efecto del tamaño nanométrico y sus implicaciones en el entendimiento de ciertos procesos físico-químicos que en él se suceden, los procesos de transformación de fase cristalina basados en modificaciones estructurales a escala atómica, la interacción entre nanomateriales y el biodeterioro, procesos de biomineralización y su relación con la nucleación y crecimiento de fases mineralógicas. Otro aspecto de interés es conocer los procesos a nivel cuántico y la modificación de propiedades específicas estructurales o funcionales, entre las cuales puede mencionarse la actividad fotocatalítica, luminiscencia, acústica o resistencia de los geomateriales.

Otro aspecto relevante que se está investigando son los efectos de incompatibilidad entre geomateriales de distinto origen y con diferentes propiedades petrofísicas, que en muchos casos pueden acelerar los mecanismos de actuación de los agentes de deterioro sobre los materiales más delicados (Varas et al 2008). Del mismo modo, también se está investigando la incompatibilidad de elementos metálicos en el interior de los geomateriales. La presencia de estos elementos metálicos genera daños tanto en la piedra natural como en el hormigón. Desde el año 2008 se viene trabajando en la utilización de fosfatos como inhibidores de corrosión de las armaduras de acero del hormigón. Esta línea de trabajo se desarrolla en dos direcciones:

- 1) Atrapado de iones cloruro por hidroxiapatito incluido en el hormigón.
- 2) Procedimientos de inclusión en el hormigón de fosfatos solubles capaces de formar películas protectoras en las armaduras y evitar la corrosión.

El atrapado de los iones cloruro en el hormigón es un tema de actualidad, por la tendencia a utilizar aceros inoxidables de bajo contenido en níquel. Estos nuevos aceros incluyen nitrógeno en su composición y presentan propiedades mecánicas similares a los de níquel, con la ventaja de su bajo costo, similar al del acero al carbono. En contrapartida, un acero inoxidable al nitrógeno se corroe fácilmente en presencia de iones cloruro, lo que impide el uso de estos materiales en ambientes marinos. De aquí la importancia de desarrollar métodos que impidan o minimicen este tipo de corrosión. En estos estudios se demuestra que en un medio de tan alta basicidad como es el hormigón no es posible la transformación hidroxiapatito-cloroapatito, por lo que su efecto de atrape es escaso (Bastidas et al 2010).

En cuanto a la inclusión de fosfatos en el hormigón, se ha estudiado la utilización de fosfato trisódico, hidrogenofosfato disódico y fluorofosfato disódico como inhibidores de la corrosión de armaduras de acero al carbono, debido a la capacidad de estos compuestos de formar películas que recubren a las varillas de acero protegiéndolas de la corrosión. En este caso los resultados son más alentadores, consiguiéndose con el empleo del hidrógeno fosfato disódico y del fluorofosfato disódico la pasivación de las armaduras, según muestran las medidas de resistividad e impedancia obtenidas.

Agradecimientos

A los programas Geomateriales (S2009/MAT-1629) y CONSOLIDER-TCP (CSD2007-0058), a los proyectos CGL2010-19554 y BIA2008-05398 del MICINN y a la financiación de Grupo de Investigación de la UCM (ref.921349). También se quiere agradecer al Programa JAE del CSIC, al Programa Juan de la Cierva y al Campus de Excelencia Internacional (CEI-Moncloa), la concesión de contratos y becas de investigación de algunos de los miembros del grupo de investigación.

Referencias

- Alvarez de Buergo, M., Fort, R., Gomez-Heras, M. (2004) Contributions of Scanning Electron Microscopy to the Assessment of the Effectiveness of Stone Conservation Treatments. *Scanning* 26, 41-47.
- Bastidas, D.M., La Iglesia, V.M., Criado, M., Fajardo, S., La Iglesia, A., Bastidas, J.M. (2010) A prediction study of hydroxyapatite entrapment ability in concrete. *Construction and Building Materials* 24, 2646-2649.
- Benavente, D., García del Cura, M.A., Fort, R., Ordóñez, S. (2004) Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength. *Engineering Geology* 74, 113-127.
- Benavente, D., Bernabéu, A., Fort, R., Martínez Martínez, J., García del Cura, M.A. (2006) The decolouration of brecciated black marbles used in heritage monuments of Alicante. En: *Heritage, Weathering & Conservation*, R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gómez-Heras y M.C. Vazquez Calvo (eds.), Taylor & Francis Group, London, Balkema, Vol 1, pp. 205-210.
- Cámara, B., de los Ríos, A., García del Cura, M.A., Galvan, V., Ascaso, C. (2008) Biorreceptivity of dolostones to fungal colonization. *Materiales de Construcción* 58 (289-290), 113-124.
- Cámara, B., de los Ríos, A., Uriza, M., Alvarez de Buergo, M., Fort, R., Ascaso, C. (2011) Characterization of microbial colonization of dolostones quarry: implications to biodeterioration diagnosis and evaluation of biocide treatments. *Microbial Ecology* 62(2), 299-313.
- De los Ríos, A., Cámara, B., García del Cura, M.A., Jiménez-Rico, V., Galván, V., Ascaso, C. (2009) Deteriorating effects of lichen and microbial colonization of carbonate building rocks in the romanesque churches of Segovia. *Science of the Total Environment* 407(3), 1123-1134.
- Domingo, C., Alvarez de Buergo, M., Sánchez-Cortés, S., Fort, R., García-Ramos, J.V. (2008) Possibilities of the molecular Infrared and Raman spectroscopies to monitor the polymerization process of water repellents and consolidants in stones. *Progress in Organic Coatings* 63(1), 5-12.
- Fort R., García del Cura M.A, Varas, M.J., Bernabéu A., Álvarez de Buergo M., Benavente D., Vázquez-Calvo C., Martínez-Martínez, J., Pérez-Monserrat, E.M. (2008) La petrología: una disciplina básica para el avance en la Investigación y conservación del patrimonio. En: *La investigación sobre Patrimonio Cultural*. C. Saiz y M.A. Rogelio (eds.), RTHC-CSIC, Madrid, pp. 217-239.
- Fort, R., Alvarez de Buergo, M., Pérez-Monserrat, E.M., Varas, M.J. (2010) Monzogranitic batholiths as a supplying source for the heritage construction in the northwest of Madrid. *Engineering Geology* 115, 149-157.
- Fort, R., Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M., Freire, D.M. (2011) Determination of anisotropy to enhance the durability of natural stone. *Journal of Geophysics and Engineering* 8, 132-144.

- Freire, D.M., Varas, M.J., Fort, R. (2010) Deterioro del el granite de Cadalso de los Vidrios bajo condiciones de Hielo/Deshielo. *Geogaceta* 49, 55-58.
- Gómez-Heras, M., Smith, B.J., Fort, R. (2006) Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue. *Geomorphology* 78(3-4), 236-249.
- Gómez-Heras, M., Fort, R. (2007) Patterns of halite (NaCl) crystallisation in building stone conditioned by laboratory heating regimes. *Environmental Geology* 52(2), 239-247.
- Gómez-Heras, M., Fort, R., Smith, B.J. (2008a) Influence of surface heterogeneities of building granite on its thermal response and its potential for the generation of thermoclasty. *Environmental Geology* 56(3-4), 547-560.
- Gómez-Heras, M., Fort, R., Morcillo, M., Molpeceres, C., Ocaña, J.L. (2008b) Laser heating: a minimally invasive technique for studying fire-generated heating in building stone. *Materiales de Construcción* 58(289-290), 203-217.
- Gomez-Heras, M., McCabe S., Smith B.J., Fort, R. (2009) Impacts of Fire on Stone-Built Heritage: An Overview. *International Journal of Architectural Heritage* 2(15), 47-59.
- Gomez-Heras, M., Sanjurjo Sanchez, J. (2011) Establishing maximum temperatures attained during building fires with thermoluminescence. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-6614
- Gomez-Villalba, L.S., López-Arce, P., Alvarez de Buergo, M., Fort, R. (2011a) Structural stability of a colloidal solution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nanocrystals exposed to high relative humidity conditions. *Applied Physics A* 104, 1249-1254.
- Gomez-Villalba, L.S., López-Arce P., Fort R. (2011b) Nucleation of CaCO_3 polymorphs from a colloidal alcoholic solution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nanocrystals exposed to low humidity conditions. *Applied Physics A* (doi:10.1007/s00339-011-6550-6).
- Gomez-Villalba, L.S., Rabanal, M.E., Fort, R., Milosevic, O. (2011c) Synthesis of nanoparticles by top-down and bottom-up methods, its applications in cultural heritage: a study using electron microscopy. En: *11th International Microscopy Conference* (en prensa).
- Gomez-Villalba, L.S., López-Arce P., Zornoza-Indart A., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2011d) Evaluación del tratamiento de consolidación de dolomías mediante nanopartículas de hidróxido de calcio en condiciones de alta humedad relativa. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 50(2), 59-66.
- López-Arce, P., Gomez-Villalba, L.S., Pinho, L., Fernández-Valle, M., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2010a) Influence of porosity and relative humidity in the consolidation of dolostone with calcium hydroxide nanoparticles: assessment of consolidation effectiveness with non destructive techniques. *Materials Characterization* 61(2), 168-184.
- López-Arce, P., Varas, M.J., Fernández-Revuelta, B., Álvarez de Buergo, M., Fort, R., Pérez-Soba, C. (2010b) Durability of granites from the region around Madrid, Spain, exposed to the salt crystallization test: intra- and inter-granular surface roughness quantification. *Catena* 83(2-3), 170-185.
- López-Arce, P., Zornoza-Indart, A., Vazquez-Calvo, C., Gomez-Heras, M., Alvarez de Buergo, M., Fort, R. (2011a) Evaluation of Portable Raman for the Characterization of Salt Efflorescences at Petra, Jordan. *Spectroscopy Letters* (en prensa).
- López-Arce P., Gómez-Villalba, L.S., Martínez-Ramírez, S., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2011b) Characterization of calcium hydroxide nanoparticles and calcium carbonate polymorphs: Influence of relative humidity on the carbonation. *Powder Technology* 205(1-3), 263-269.
- López-Arce, P., Fort, R., Gómez-Heras, M., Perez-Monserrat, E.M., Varas, M.J. (2011c) Preservation strategies for avoidance of salt crystallisation in El Paular Monastery cloister, Madrid, Spain. *Environmental Earth Sciences* 63, 1487-1509.

- Martínez-Garrido, M.I., Gómez-Heras, M., Aparicio, S., Izquierdo, M.A.G., Fort, R., Anaya, J.J. (2011a) Wireless sensor networks for monitoring decay in architectural heritage. En: *Stone Weathering and Atmospheric Pollution Network: Conservation of Stone Heritage*.
- Martínez-Garrido, M.I., Aparicio, S., Izquierdo, M.A.G., Fort, R., Anaya, J.J. (2011b) Propuesta de monitorización del deterioro en patrimonio construido mediante redes de sensores inalámbricas. En: *12º Congreso Nacional de Ensayos No Destructivos*, V. Amigó (ed.), Universitat Politècnica de València, Instituto de Tecnología de Materiales, pp. 649-658.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, J., García del Cura, M.A. (2011a) Spatial attenuation: the most sensitive ultrasonic parameter detecting petrographic features and decay processes in dolostones, limestones, marbles and travertines. *Engineering Geology* 119(3-4), 84-95.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D., García del Cura, M.A. (2011b) Mechanical analysis of multi-textural rocks (brecciated dolostones and limestones): a new micro-compression test for rocks. *Key Engineering Materials* 465, 479-482.
- Pérez-Monserrat, E.M., Varas, M.J., Fort, R., Álvarez de Buergo, M. (2011) Cleaning methods assessment for the limestone's façades of the formerly Workers Hospital of Madrid, Spain. *Studies in Conservation* (en prensa).
- Varas, M.J., Álvarez de Buergo, M., Pérez-Monserrat, E.M., Fort, R. (2008) Decay of the restoration render mortar of the church of San Manuel and San Benito, Madrid, Spain: Results from optical and electron microscopy. *Materials Characterization* 59(11), 1531-1540.
- Vázquez-Calvo, C., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2007a) Overview of recent knowledge of patinas on stone monuments: the Spanish experience. En: *Building Stone Decay: from Diagnosis to Conservation*, R. Prikryl y B. Smith (eds.). The Geological Society of London. Special Publications 271, pp. 295-307.
- Vázquez-Calvo C., Álvarez de Buergo, M., Fort, R., Varas M.J. (2007b) Characterization of patinas by means of microscopic techniques. *Materials Characterization* 58, 1119-1132.
- Vázquez-Calvo C., Giakoumaki A., Anglos D., Álvarez de Buergo M., Fort, R. (2007c) Classification of patinas found on surfaces of historical buildings by means of Laser Induced Breakdown Spectroscopy. En: *Lasers in the conservation of artworks ion of Artworks. LACONA VI Proceedings*, J. Nimmrichter, W. Kautek y M. Schreiner (eds.), Springer-Verlag, Springer Proceedings in Physics, Vol. 116, pp. 415-420.
- Vázquez-Calvo, C., Gomez Tubio, B., Alvarez de Buergo, M., Ortega Feliu, I., Fort, R., Respaldiza, M.A. (2008) The use of a portable energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer for the characterization of patinas from the architectural heritage of the Iberian Peninsula. *X-Ray Spectrometry* 37, 399-409.
- Vázquez-Calvo, C., Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M., Fort R. (2010) Limestone on the Don Pedro I facade in the Real Alcázar compound, Seville, Spain. En: *Limestone in the Built Environment: Present Day Challenges for the Preservation of the Past*, B. Smith, M. Gómez-Heras, H.A. Viles y J. Cassar (eds.). The Geological Society of London. Special Publications 331, pp. 171-182.
- Zornoza-Indart, A., López-Arce, P., Gómez Villalba, L.S., Álvarez de Buergo, M., Fort, R., Vivar, G., Morigi, M.P., Betuzzi, M. (2011a) Salt weathering in desalinated and non-desalinated ceramic amphorae from underwater marine environments. En: *Salt weathering in buildings and stone sculptures* (en prensa).
- Zornoza-Indart, A., López-Arce, P., Álvarez de Buergo, M., Gómez Villalba, L.S., Varas, M.J., Fort, R. (2011b) Consolidación mediante diferentes métodos de aplicación de nanopartículas de Ca(OH)_2 en rocas carbonáticas deterioradas. En: *18th International Meeting on Heritage Conservation* (en prensa).

Procesos de Formación Mineral

J.M. Astilleros^{1,2}, J.M. Fernández-Barrenechea^{1,2}, L. Fernández-Díaz^{1,2}, E. García-Romero^{1,2}, R. Lunar^{1,2}, F.J. Luque^{1,2}, C.M. Pina^{1,2} y M. Rodas^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. jmastill@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Las líneas de investigación del Grupo “Procesos de Formación Mineral” incluyen: a) el estudio de la influencia de distintos parámetros físico-químicos (temperatura, presencia de impurezas en el medio, sobresaturación, etc.) en la formación de minerales en condiciones de temperatura y presión bajas a moderadas, de las propiedades de estos minerales (cristaloquímica, área superficial, características texturales, etc.), así como su uso potencial en aplicaciones industriales, medioambientales y en la interpretación de condiciones genéticas en medios naturales, b) la caracterización y modelización de los procesos de formación de concentraciones volumétricamente importantes de minerales susceptibles de ser explotados, asociadas a rocas ígneas, considerando los aspectos geológicos, mineralógicos y geoquímicos que condicionan la formación de estos depósitos y c) el aprovechamiento de residuos procedentes de diferentes industrias (lodos de graveras, lodos de depuradoras y cenizas volantes) para la fabricación de un material altamente tecnológico (áridos ligeros). Todas estas investigaciones tienen un doble objetivo, conocer mejor el Sistema Tierra a través de los minerales que se forman (y destruyen) continuamente y diseñar estrategias encaminadas a procurar un uso sostenible de los recursos naturales.

Introducción

Las líneas principales de investigación del Grupo “Procesos de Formación Mineral” incluyen:

- a) el estudio a multiescala del efecto ejercido por distintos parámetros físico-químicos en la formación de minerales de bajas temperaturas y presiones, y la búsqueda de posibles aplicaciones, tanto en la interpretación de ambientes geológicos como en la industria y la mejora medioambiental.
- b) la caracterización, evaluación y modelización de los procesos de formación de concentraciones minerales explotables asociadas a rocas ígneas.
- c) el aprovechamiento de residuos procedentes de diferentes industrias para la fabricación de material de alto valor añadido.

En el marco de la primera línea de investigación, los esfuerzos de este grupo se han centrado en dos temáticas diferentes, que abordan, respectivamente, la formación y propiedades de minerales no silicados (carbonatos, fosfatos y sulfatos), y de minerales del grupo de las arcillas (palygorskita y sepiolita). Estos estudios se desarrollan en la actualidad en el marco de proyectos de investigación cuya temática y características se explican a continuación:

Estudio de procesos de disolución-cristalización relevantes en medioambiente y biomineralización (CGL2010-20134-C02-01)

J.M. Astilleros^{1,2} y L. Fernández-Díaz^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. jmastill@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

La interacción entre minerales y fluidos acuosos es un proceso que tiene lugar de forma continua en la superficie terrestre. En ocasiones, esta interacción contribuye a deteriorar la calidad de las aguas continentales, por ejemplo, en la proximidad de explotaciones mineras, facilitando la liberación a las aguas de elementos contaminantes presentes en la red cristalina de los minerales cuando estos minerales sufren procesos de disolución. Paradójicamente, la interacción entre las superficies de determinados minerales y aguas con altos contenidos en elementos tóxicos puede conducir a una reducción significativa de la concentración de estos elementos. Esta reducción de la concentración de contaminantes disueltos en el agua es consecuencia de conjunto de procesos que se agrupan bajo el término de "sorción". Entre los procesos que se engloban en el concepto genérico de *sorción*, la neoformación de sólidos muy poco solubles y que incorporan al contaminante en el interior de su estructura puede considerarse como el más eficaz a largo plazo ya que la inmovilización del contaminante queda garantizada al pasar a formar parte de una fase escasamente reactiva.

Para que este proceso de inmovilización se produzca, la interacción agua contaminada-mineral debe conducir al desarrollo de un proceso que incluye: 1) disolución parcial del mineral original y 2) nucleación y crecimiento sobre la superficie del mismo de la nueva fase sólida que incorpora al elemento contaminante. Los investigadores J.M. Astilleros y L. Fernández-Díaz, colaboran desde hace aproximadamente una década en el estudio de este tipo de procesos, llevando a cabo investigaciones coordinadas con científicos de instituciones nacionales (el grupo del Profesor Manuel Prieto, de la Universidad de Oviedo) e internacionales (Athanasios Godelitsas, de la Universidad de Atenas -Grecia-, Mário Gonçalves y André Pinto, de la Universidad de Lisboa -Portugal-, Andrew Putnis, de la Universidad de Münster -Alemania-). Aunque en un primer momento esta investigación se planteó con un enfoque de carácter fundamental, recientemente se ha buscado un carácter aplicado, explorando la capacidad de las superficies de distintos minerales, fundamentalmente carbonatos (calcita y aragonito), y sulfatos (yeso y anhidrita), para eliminar contaminantes, como Cu, Pb, Hg, Cr (VI), etc., de disoluciones acuosas (Pérez-Garrido 2008, Astilleros et al 2009, Astilleros et al 2010, Godelitsas et al 2010, Sánchez-Pastor et al 2011, Morales et al. 2011). Entre las virtudes fundamentales de estos minerales se encuentran su gran disponibilidad y su bajo coste. Para evaluar la eficacia de un determinado mineral como eliminador de un determinado elemento contaminante se consideran aspectos como la velocidad a la que dicho contaminante se elimina, el grado de eliminación que se alcanza y la persistencia de esta eliminación en el tiempo.

El estudio de la viabilidad y eficacia de los procesos de interacción superficie mineral-agua como un mecanismo de descontaminación de aguas con altas concentraciones de un elemento tóxico determinado requiere combinar observaciones a distintas escalas.

Los datos de carácter macroscópico (concentración del contaminante en el medio acuoso, por ejemplo) permiten caracterizar la eficacia global del proceso. Estos cambios suelen relacionarse con aspectos microscópicos de los procesos que conducen a la eliminación y para poder comprenderlos es necesario ampliar las escalas de observación. A través de observaciones microscópicas se obtiene información sobre las relaciones texturales entre el mineral original y la fase neo-formada. Por ejemplo, las relaciones geométricas entre un sustrato y el mineral neoformado y que incorpora al contaminante pueden afectar muy significativamente a la eficacia de la eliminación. Las observaciones a escala nanoscópica ayudan a completar el escenario aportando información sobre los mecanismos moleculares involucrados. En todo caso, alcanzar una evaluación completa de una posible estrategia de remediación basada en la interacción de aguas contaminadas con las superficies de una fase mineral concreta requiere, para finalizar, comprobar la estabilidad y escasa reactividad de las fases neo-formadas en las que se inmoviliza el contaminante.

Los procesos de disolución-cristalización se encuentran además en la base de la formación de minerales en cuencas sedimentarias, durante la diagénesis, en suelos y cuevas, en procesos supergénicos relacionados con depósitos minerales, etc. Estos procesos resultan especialmente interesantes cuando involucra a compuestos que, como es el caso del carbonato cálcico o del fosfato cálcico, pueden presentarse como distintas fases minerales, con distintas estructuras y distintos grados de hidratación. Las transformaciones polimórficas constituyen uno de los temas de mayor relevancia dentro de la Mineralogía y que, además, tiene implicaciones en disciplinas muy diversas, desde la Petrología y la Tectónica a la Química y la Biología. Las transformaciones, polimórficas o de otro tipo, que se desarrollan entre distintas fases del carbonato cálcico y del fosfato cálcico, además de su obvio interés mineralógico, son de enorme relevancia en el contexto de la biomineralización. La formación de fases metaestables del carbonato cálcico o del fosfato cálcico es un fenómeno frecuente. En el corto plazo, estas fases pueden permanecer temporalmente estabilizadas. Sin embargo, a largo plazo acaban transformándose en fases más estables a través de procesos de disolución-cristalización (Fernández-Díaz et al 2010). Estos procesos juegan un papel muy importante en la formación de conchas y huesos, donde las fases amorfas o desordenadas del carbonato cálcico o del fosfato cálcico pueden actuar como precursores en la formación de fases más estables.

La investigación que los Drs. Astilleros y Fernández-Díaz llevan a cabo en la actualidad en esta temática busca alcanzar un mejor conocimiento de los factores que afectan a la formación de las distintas fases del carbonato cálcico y del fosfato cálcico y que, además, controlan el desarrollo de las transformaciones que posteriormente se producen entre ellas vía disolución-cristalización. Los factores a los que se está prestando una mayor atención son la temperatura y la presencia de impurezas en el medio. Entre las impurezas consideradas se incluyen iones que se encuentran en los sistemas biomineralógicos de forma natural y otros cuya concentración ha aumentado progresivamente como consecuencia de la actividad humana.

En el desarrollo de esta investigación se ha establecido nuevas colaboraciones, que se añaden a las mencionadas anteriormente (Pedro Tartaj, del Instituto de CC. Materiales del CSIC y Erika Griesshaber y Wolfgang Schmahl, de la Universidad Ludwig-Maximilian de Munich, Alemania). Se espera que de esta investigación se puedan derivar protocolos tecnológicos, relacionados con la estabilización de fases minerales concretas, que podrían generar un beneficio económico en el largo plazo.

Estudio a nanoescala de superficies minerales

C.M. Pina^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid. cmpina@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid.

Entre las investigaciones más recientes del Dr. Pina caben destacar el estudio a nanoescala del crecimiento y disolución de carbonatos y sulfatos (Pina y Jordan 2010) en ausencia (Pina et al 2010) y presencia de impurezas (Pina 2011), así como la formación de epitaxias (Pina y Rico-García 2009).

Estudio de las propiedades fisico-químicas y texturales de filosilicatos del tipo sepiolita-palygorskita

E. García Romero^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. mromero@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

La Dra. García Romero viene trabajando en los últimos años en el estudio de las propiedades fisico-químicas y texturales de minerales arcillosos, fundamentalmente de palygorskita y sepiolita. Tanto la sepiolita como la palygorskita son filosilicatos fibrosos, pertenecientes al grupo de los minerales de la arcilla. Ambos constituyen un grupo de minerales con un enorme número de aplicaciones industriales.

El conocimiento de la composición química y textural de sepiolita y palygorskita se ha conseguido gracias a un intenso trabajo de caracterización centrado en los análisis puntuales mediante AEM de un elevado número de muestras (más de 4000 fibras analizadas), y en difracción de Rayos X de alta resolución (con radiación sincrotrón) que ha permitido conocer la influencia de las sustituciones isomórficas en los parámetros de celdilla de ambos minerales. Los datos espectroscópicos (NIR) y de SAED permiten intuir las complejas relaciones estructurales y texturales entre los minerales de composiciones anómalas. Identificar la presencia-ausencia de defectos cristalinos, clusters y/o intercrecimientos asociados a palygorskita y sepiolita de distintos tipos no solamente ha permitido profundizar en el conocimiento de la cristalografía de ambos minerales sino también explicar las enormes variaciones de las propiedades de superficie que parecen presentar estos minerales.

Puesto que el uso de la sepiolita y palygorskita se basa en sus propiedades fisico-químicas y estas a su vez dependen, en gran medida, de su cristalografía, resulta fundamental el conocimiento preciso de los distintos tipos estructurales y texturales, máxime cuando en los últimos estudios realizados por la Dra. García Romero (García-Romero y Suárez 2010) han puesto de manifiesto la gran variedad composicional que existe dentro de este grupo de minerales, la cual ha de influir, necesariamente, en sus propiedades fisico químicas.

El avance en el conocimiento cristalográfico de ambos minerales ha permitido encontrar numerosas muestras tanto de sepiolita como de palygorskita, con contenidos de Mg o Al anómalos.

Se trata de muestras de sepiolita con un anómalo contenido en aluminio (Al-sepiolita) y palygorskitas con un anómalo contenido en Mg (Mg-palygorskita) en las cuales no hay diferencias químicas entre los dos extremos (la proporción de los cuatro óxidos más importantes, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO , es casi idéntica) (Sánchez del Río et al 2005, García-Romero et al 2007, Suárez et al 2007, Suárez y García Romero 2006a, García Romero y Suárez 2010) se trata, por lo tanto, de sepiolita aluminica y/o palygorskita magnésica. Los estudios realizados han demostrado que no existe laguna composicional entre ambos términos, como se había aceptado hasta el momento, sino que ambos minerales son los términos extremos de una serie composicional continua. Se ha podido enunciar una teoría polisomática para explicar el problema (Chrysicos et al 2009 y Statopoulou et al 2011). También se han encontrado un cierto número de palygorskitas sin trazas de impurezas que contienen una proporción anómalamente alta de Al octaédrico y menos de cuatro cationes octaédricos por media celda. Estas palygorskitas presentan además anomalías térmicas y espectroscópicas.

Además, el interés del estudio de las propiedades de superficie y de adsorción de distintos compuestos orgánicos e inorgánicos por ambos minerales, con fines industriales (catálisis) y medioambientales (contaminantes) es indudable. Un factor tremendamente importante y determinante de las propiedades de superficie y de ad-adsorción de sepiolita y palygorskita es el aspecto textural. Las fibras, en ambos minerales, son realmente agrupaciones de un número variable de fibras (bundles) de menor tamaño. El tamaño de las fibras así como su mayor o menor rizado o rigidez dependen del número y forma de agregación de las unidades fibrosas de menor tamaño que forman las fibras (laths). Dichos rasgos texturales son característicos de cada yacimiento y dependen de las condiciones termodinámicas y cinéticas reinantes en el yacimiento en el momento de su formación, y son los que condicionan el grado de compactación, y la porosidad de la muestra y, como consecuencia, su superficie específica y ad-adsorción. La variación en la superficie específica de minerales puros es enorme. Hasta el momento hemos encontrado muestras con superficies de tan sólo $10 \text{ m}^2/\text{g}$ hasta otras de $400 \text{ m}^2/\text{g}$. Para explicar estas diferencias, se ha realizado un riguroso estudio de los distintos tipos texturales, que presentan ambos minerales, así como de la influencia de los parámetros cristaloquímicos en cada grupo, como por ejemplo los defectos cristalinos (Suárez y García-Romero 2006b).

Por último, comentar que se han obtenido interesantes resultados en el estudio de los pigmentos arqueológicos a base de palygorskita (Azul Maya) (Sánchez del Río et al 2009, Sánchez del Río et al 2011).

Los avances en el conocimiento de sepiolita y palygorskita realizados por la Dra. García Romero son fruto del trabajo en equipo con la Dra. Suárez Barrios (Univ. De Salamanca) y el Dr. Sanchez del Río (ESRF, Grenoble) con los que forma un equipo consolidado, así como de la colaboración con otros grupos internacionales, especialmente con el grupo griego liderado por el Dr. Khrysticos.

La línea de investigación centrada en caracterización y modelización de los procesos de formación de concentraciones minerales explotables asociadas a rocas ígneas incluye el estudio de tres tipos de depósitos minerales con características diferentes, los yacimientos de grafito asociados a rocas plutónicas básicas derivadas del manto, las mineralizaciones magmáticas de Cr-Ni-Cu-Elementos del Grupo del Platino, EGP y las mineralizaciones asociadas a las interacciones corteza-fluidos en la Tierra y otros ambientes planetarios.

Caracterización geológica y mineralógica de yacimientos de grafito

J.F. Barrenechea^{1,2}, F.J. Luque^{1,2} y M. Rodas^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. barrene@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

La presencia de depósitos de grafito está debida a la conversión de la materia orgánica durante el metamorfismo (grafitización) o a la precipitación a partir de fluidos carbónicos. La grafitización es un proceso irreversible e independiente de los efectos de la presión o el retrometamorfismo, que conlleva cambios cristaloquímicos, por lo que el estado de evolución estructural del grafito es un dato de capital importancia para conocer las condiciones del pico metamórfico. En el caso del grafito asociado a la precipitación a partir de fluidos, su presencia registra el movimiento de fluidos C-O-H en la corteza, a la vez que proporciona información sobre la composición y origen de dichos fluidos, y permite establecer las condiciones físico-químicas bajo las que se produjo la precipitación.

Actualmente, los estudios se centran en indicios volumétricamente importantes de grafito en rocas plutónicas básicas derivadas del manto. Tales depósitos son muy escasos y no han sido estudiados hasta ahora. La presencia de grafito en estas rocas aporta datos acerca de las condiciones redox que, a su vez, influyen en el comportamiento geoquímico de ciertos elementos. El carbono se incorpora a los magmas generados en el manto principalmente como CO₂, pudiendo proceder de los carbonatos marinos subducidos junto con los carbonatos y/o carbono biogénico presentes en la placa que subduce. Además, el carbono puede incorporarse posteriormente a la generación del magma cuando, durante su ascenso, el magma asimila o funde materiales de la corteza ricos en carbono. Sin embargo, la solubilidad del CO₂ en magmas básicos es baja y, por otra parte, una gran parte del carbono incorporado se libera mediante desgasificación. A través de estos procesos se establece un ciclo del carbono entre los materiales de la corteza y el manto (y finalmente la atmósfera). El origen de las grandes concentraciones de carbono necesarias para la formación de depósitos de grafito en rocas plutónicas básicas no se conoce con certeza. Del mismo modo, los mecanismos involucrados en la génesis de tales depósitos son poco conocidos, así como la manera en que su formación influye en el ciclo global del carbono.

Los estudios que se están desarrollando se basan en la combinación de métodos geológicos, mineralógicos (petrología del encajante y de la mineralización, estudio de inclusiones fluidas y/o fundidas, caracterización estructural del grafito) y geoquímicos (relación de isótopos estables de carbono a diferentes escalas). Esta aproximación se ha demostrado muy útil en los estudios previos llevados a cabo por este mismo equipo investigador (Crespo et al 2006, Luque et al 2009, Barrenechea et al 2009, Ortega et al 2010), tanto en rocas volcánicas intermedias y básicas como en rocas plutónicas ultramáficas (andesitas, basaltos y lherzolitas). El estudio planteado permitirá: 1) conocer las características de los yacimientos de grafito enclavados en rocas plutónicas básicas, 2) establecer la fuente de carbono y el momento del enriquecimiento de los magmas que permitió la formación de este mineral, 3) modelizar este tipo de depósitos, y 4) determinar si existen factores comunes que condicionen la presencia de cantidades importantes de grafito en rocas derivadas del manto y sus implicaciones en el ciclo del carbono entre la corteza y el manto.

En esta línea de trabajo se colabora con el Dr. David Millward (British Geological Survey) y el Dr. Stuart Clarke (Universidad de Keele, Reino Unido) en la interpretación de los datos geológicos del yacimiento de grafito de Borrowdale (Reino Unido). Así mismo, en 2007 se comenzó la colaboración con el Dr. Olivier Beyssac (Ecole Normale Supérieure, París) acerca del estudio mediante espectroscopia Raman del grafito y de las inclusiones fluidas. El Dr. Jan-Marten Huizenga (North-West University, Potchefstroom, Sudáfrica) colabora en la modelización termodinámica de los fluidos C-O-H. Finalmente, se colabora con el Dr. Hideki Wada en estudios sobre cristalinidad de grafito y geoquímica isotópica.

Esta línea de investigación se viene desarrollando desde hace años a través de distintos proyectos de investigación nacionales. Los más recientes son:

- "Indicadores geológicos, geoquímicos y cristalquímicos de los diferentes mecanismos de formación de grafitos naturales". (CGL2006-00835) D.G.I.C.Y.T. (2006-2009). Investigador Principal: Dr. Francisco Javier Luque del Villar.

- "Mineralizaciones de grafito en rocas ígneas básicas: implicaciones en el ciclo del carbono corteza-manto". (CGL2010-16008) Ministerio de Ciencia e Innovación. (2010-2013) Investigador Responsable: Dr. Francisco Javier Luque del Villar.

Metagenia del manto (mineralizaciones magmáticas de Cr-Ni-Cu-Elementos del Grupo del Platino, EGP)

R. Lunar^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. lunar@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

El objetivo de esta línea de investigación es elaborar modelos geológicos y metalogenéticos que expliquen la formación de mineralizaciones de Cr y Ni-Cu-EGP dentro de su contexto geodinámico y que permitan proponer pautas de exploración de depósitos similares. Dentro de esta línea, la investigación en los últimos 10 años se ha centrado en la caracterización del yacimiento de Ni-Cu de Aguablanca (Badajoz), el único yacimiento de este tipo en la Península Ibérica y la única mina de Ni-Cu en explotación en el SO de Europa. Se ha llevado a cabo un estudio mineralógico, geoquímico, estructural y geofísico exhaustivo que ha dado lugar a numerosas publicaciones recogidas en el SCI (Romeo et al 2008, Piña et al 2010 y 2011a) dos Tesis Doctorales y un libro editado por el Instituto Geológico y Minero de España (Lunar et al 2008). Entre los logros más importantes alcanzados en Aguablanca cabe destacar: 1) la elaboración de un modelo metalogénico capaz de explicar la formación y emplazamiento de la mineralización en su contexto geológico, y 2) las importantes implicaciones que este modelo ha tenido y sigue teniendo para la compañía minera Lundin Mining tanto en la exploración regional de nuevos yacimientos como localmente en la extensión de las reservas de Aguablanca en profundidad. El grupo mantiene un convenio de colaboración con esta compañía minera lo que permite estudiar mineralizaciones semejantes que se han ido identificando en la región (Zona de Ossa-Morena, SO España). Actualmente, el grupo está realizando diferentes tareas de investigación en Calzadilla de los Barros (Badajoz) donde se ha identificado mineralizaciones de Cr, y en Cortegana (Huelva) donde aparece una mineralización de sulfuros de Ni-Cu.

Por otra parte, se están realizando una serie de estudios enfocados a comprender el comportamiento de los EGP en sistemas magmáticos. Estos elementos muestran un fuerte comportamiento calcófilo, por lo que se concentran en el magma sulfurado cuando este se segrega por inmiscibilidad del magma silicatado una vez ha alcanzado la saturación en S. Este es el principal proceso que tiene lugar en la génesis de las mineralizaciones de Ni-Cu-EGP. Sin embargo, varios estudios experimentales y observaciones empíricas han demostrado que este comportamiento varía significativamente cuando el magma silicatado o sulfurado tienen concentraciones significativas de As. En estos casos, un fundido rico en As (magma arseniurado) puede separarse por inmiscibilidad del magma sulfurado o silicatado e incorpora los EGP. Es decir, los EGP muestran una mayor afinidad por el magma arseniurado que por el sulfurado. Este comportamiento tiene importantes implicaciones en la exploración. Existe mucha información sobre los coeficientes de reparto de los EGP entre magma sulfurado y silicatado, sin embargo hasta el momento se desconocen los coeficientes de reparto de los EGP entre magma arseniurado y sulfurado. El Grupo de Investigación ha comenzado a desarrollar un estudio destinado a cuantificar estos coeficientes en muestras naturales de la mineralización de Cr-Ni de Beni-Bousera (Norte de Marruecos). En esta mineralización coexisten en equilibrio arseniuros y sulfuros formados a partir de la cristalización de un magma arseniurado y sulfurado, respectivamente. Ambos grupos de minerales permanecen en equilibrio y mantienen sus contenidos en EGP tal y como se distribuyeron en el momento de la separación de los fundidos, por lo que constituyen una oportunidad excelente para cuantificar estos coeficientes de reparto.

Mineralizaciones asociadas a las interacciones corteza-fluidos en la Tierra y otros ambientes planetarios

R. Lunar^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. lunar@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Los objetivos de esta línea son: 1.- Comprender los mecanismos y procesos de interacción entre distintos tipos de fluidos (magmáticos, hidrotermales, marinos, meteóricos...) y rocas en diferentes contextos geodinámicos; 2.- Caracterizar de manera comparada la mineralogía y geoquímica de los procesos de mineralización-alteración hidrotermal; 3.- Valorar la extrapolación de los resultados de análogos terrestres a otros ambientes planetarios, como Marte y Venus.

Desde 1978, diferentes miembros del Grupo han trabajado en la caracterización de numerosos depósitos hidrotermales en España (distrito argentífero de Hiendelaencina, Guadalajara; distrito de Las Herrerías-Sierra Almagrera, Almería; mineralizaciones de Co-Mn en el campo volcánico de Calatrava, Ciudad Real, entre otras), Chile (mineralizaciones de Ag en Talcuna y Arqueros) y Reino Unido (yacimientos de grafito en Borrowdale). Recientemente se ha trabajado en nódulos de Fe-Mn-Co y chimeneas submarinas de carbonatos metanógenos en el Golfo de Cádiz, donde se han realizado 2 Tesis Doctorales y varias publicaciones SCI (Merinero et al 2009, González et al 2010).

Actualmente, estamos trabajando junto con la compañía minera Sílex Argentina S.A. en la exploración de la mineralización epitermal argentífera de El Quevar (NO de Argentina). Esta investigación se lleva a cabo con el Proyecto de Investigación CGL2010-17668 "*Procesos de alteración-mineralización en sistemas epitermales: el distrito argentífero de El Quevar (Argentina)*". El estudio de El Quevar tiene gran interés socioeconómico y científico, ya que la plata es un objetivo prioritario de exploración, considerándose un recurso mineral de interés tecnológico por sus aplicaciones industriales en productos eléctricos y electrónicos, y como catalítico en reacciones industriales de oxidación, etc. La investigación es novedosa, pues se trata de un yacimiento descubierto recientemente y se producirá además una transferencia inmediata de los conocimientos obtenidos a la empresa de exploración, interesada en su aplicación en la exploración y descubrimiento de nuevos yacimientos de este tipo en Los Andes.

Tanto esta línea como la anterior se están llevando a cabo en el seno de un equipo de investigación interdisciplinar (Grupo UCM 910107, validado por la ANECA y financiado por la Comunidad de Madrid-UCM) integrado por 9 miembros de los siguientes Organismos Públicos: 1.- UCM - Facultad de CC. Geológicas: Rosario Lunar, Lorena Ortega, Rosa Tejero, Meaza Tsige y Rubén Piña, 2.- IGME: Cecilio Quesada y Luis Somoza; y 3.- CSIC: Jesús Martínez-Frías y Ángel la Iglesia.

Finalmente, la línea de investigación orientada a buscar estrategias para el aprovechamiento de residuos procedentes de diferentes industrias se centra en la fabricación de materiales de alto valor añadido, como se explica a continuación.

Aprovechamiento de residuos mineros e industriales para la fabricación de áridos ligeros

J.F. Barrenechea^{1,2}, F.J. Luque^{1,2} y M. Rodas^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. barrene@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

En las sociedades industrializadas, el tratamiento de los residuos generados por actividades mineras e industriales se ha convertido en un problema de gran importancia, ya que el almacenamiento de éstos resulta costoso y, en algunas ocasiones, muy peligroso en función de la toxicidad del material. Los residuos tóxicos presentan el problema adicional de tener que ser acumulados en unas condiciones muy particulares que impidan su dispersión para evitar la contaminación del medio físico y biológico. Así, desde hace pocos años se está empezando a desarrollar tecnologías para, en unos casos, realizar la reutilización de estos residuos y en otros, para producir la inertización de los mismos.

Nuestros estudios tratan de combinar ambas acciones: por un lado, se utilizan residuos procedentes de diferentes industrias para la fabricación de un material altamente tecnológico (áridos ligeros) y, por otro, con el proceso cerámico aplicado a estos residuos para la fabricación de los áridos se consigue la inertización de sus elementos metálicos contaminantes. De esta manera, a partir de un residuo se puede generar un recurso de alto valor tecnológico.

Nuestro grupo comenzó sus trabajos sobre el reciclaje de residuos mineros en el año 2001. Actualmente los estudios de esta línea se centran en la fabricación de áridos ligeros a partir de residuos utilizando los materiales que generalmente se usan para la manufactura de estos productos (lodos de graveras, lodos de depuradoras y cenizas volantes). Esta investigación se refleja en diversas publicaciones (González-Corrochano et al 2009, 2010 y 2011) y una Tesis Doctoral.

Los áridos ligeros se fabrican mediante una cocción a muy alta temperatura (1200°C) de una mezcla de materiales arcillosos y compuestos orgánicos. En los estudios que se desarrollan actualmente, la base arcillosa procede de los lodos de corte de rocas ornamentales, fundamentalmente granitos. Estos lodos presentan una composición mineralógica muy adecuada para la fabricación de áridos ligeros, lo cual probablemente genere áridos con unas propiedades mecánicas excelentes. Los materiales con base orgánica elegidos para generar los gases que expandirán el árido son las bolsas de plástico que normalmente se suministran en los comercios para transportar productos.

La pasta cerámica debe ser diseñada de tal manera que la temperatura a la que la viscosidad de la fase amorfa formada es mínima, sea inferior a la temperatura de volatilización de los metales pesados presentes, con ello se evita cualquier posibilidad de pérdida de metales. De esta forma se inertiza un residuo con elementos pesados contaminantes de una forma permanente en el tiempo.

Esta línea de investigación se viene desarrollando desde hace años en colaboración con los Drs. Jacinto Alonso Azcárate y Beatriz González Corrochano (Universidad de Castilla-La Mancha) a través de distintos proyectos de investigación competitivos:

- "Aprovechamiento de residuos mineros e industriales para la fabricación de áridos ligeros en la Comunidad de Castilla-La Mancha. (PBI05-044) Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (2005-2007) Investigador Principal: Dr. Jacinto Alonso Azcárate.

- "Reciclaje de residuos mineros y bolsas de plástico para la fabricación de áridos ligeros". Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (2011-2013) Investigador Principal: Dr. Jacinto Alonso Azcárate.

Referencias

- Astilleros, J.M., Jiménez, A., Sánchez-Pastor, N., Rodríguez-Blanco, J.D., Fernández-González, A., Fernández-Díaz, L. (2009) El papel de las superficies minerales en la eliminación de contaminantes inorgánicos de las aguas. *InfoEnviro* 43, 42-45.
- Astilleros, J.M., Godelitsas, A., Rodríguez-Blanco, J.D., Fernández-Díaz, L., Prieto, M., Lagoyannis, A., Harissopulos, S. (2010) Interaction of Gypsum with Pb - bearing aqueous solutions. *Applied Geochemistry* 25, 1008-1016.
- Barrenechea, J.F., Luque, F.J., Millward, D., Ortega, L., Beyssac, O., Rodas, M. (2009) Graphite morphologies from the Borrowdale deposit (NW England, UK): Raman and SIMS data. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 158, 37-51.
- Chrysikos, G., Gionis, V., Kacandes, G.H., Stahopoulou, E.T., Suárez, M., García-Romero, E., Sánchez Del Rio, M. (2009) Octahedral cation distribution in palygorskite. *American Mineralogist* 94, 200-203.
- Crespo, E., Luque, F.J., Rodas M., Wada, H., Gervilla, F. (2006). Graphite-sulfide deposits in Ronda and Beni Bousera peridotites (Spain and Morocco) and the origin of carbon in mantle-derived rocks. *Gondwana Research* 9, 279-290.

- Cruz, J., Sánchez-Pastor, N., Gigler, A.M., Fernández-Díaz, L.N. Sánchez-Pastor, A.M. Gigler, L. Fernández-Díaz. (2011) Vaterite (CaCO_3) Stability in the Presence of Cr (VI). *Spectroscopy Letters* (aceptado).
- Fernández-Díaz, L., Fernández-González, A., Prieto, M. (2010) The role of sulfate groups in controlling CaCO_3 polymorphism. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 6064-6076.
- García Romero, E., Suárez, M. (2010) On the chemical composition of sepiolite and palygorskite. *Clays and Clay Minerals* 58, 1-20.
- García-Romero, E., Suárez, M., Santarén, J., Álvarez, A. (2007) Crystallo-Chemical Characterization of the palygorskite and sepiolite from the Allou Kagne deposit (Senegal). *Clays and Clay Minerals* 55, 606-617.
- Godelitsas, A., Astilleros, J.M. (2010) Dissolution, sorption / (re)precipitation, formation of solid solutions and crystal growth phenomena on mineral surfaces: implications for the removal of toxic metals from the environment. En: *Ion partitioning in ambient-temperature aqueous systems*. M. Prieto y H. Stoll (eds.) EMU Notes In Mineralogy 10, Published by the European Mineralogical Union and the Mineralogical Society of Great Britain & Ireland, London, pp. 289-324.
- González, F.J., Somoza, L., Lunar, R., Martínez-Frías, J., Martín Rubí, J.A., Torres, T., Ortiz, J.E., Díaz-del-Río, V. (2010) Internal features, mineralogy and geochemistry of ferromanganese nodules from the Gulf of Cadiz: The role of the Mediterranean Outflow Water undercurrent. *Journal of Marine Systems* 80, 203-218.
- González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodas, M., Barrenechea, J.F., Luque, F.J. (2011) Microstructure and mineralogy of lightweight aggregates manufactured from mining and industrial wastes. *Construction and Building Materials* 25, 3591-3602.
- González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodas, M., Luque, F.J., Barrenechea, J.F. (2010) Microstructure and mineralogy of lightweight aggregates produced from washing aggregate sludge, fly ash and used motor oil. *Cement and Concrete Composites* 32, 694-707.
- González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodas, M. (2009) Characterization of lightweight aggregates manufactured from washing aggregate sludge and fly ash. *Resources Conservation and Recycling* 53, 571-581.
- Lunar, R., Romeo, I., Piña, R., Capote, R., Ortega, L., Gervilla, F., Quesada, C., Tejero, R. (2008) El yacimiento de Ni-Cu-(EGP) de Aguablanca (Macizo Ibérico): Marco tectónico, mineralogía, geoquímica, geocronología y modelo metalogenético. *Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Recursos Minerales N° 8*. 252 pp.
- Luque, F.J., Ortega, L., Barrenechea, J.F., Millward, D., Beyssac, O., Huizenga J.M. (2009) Deposition of highly crystalline graphite from moderate-temperature fluids. *Geology* 37, 275-278.
- Merinero, R., Lunar, R., Somoza, L., Díaz-del-Río, V., Martínez-Frías, J. (2009) Nucleation, growth and oxidation of framboidal pyrite associated with hydrocarbon-derived submarine chimneys: lessons learned from the Gulf of Cadiz. *European Journal of Mineralogy* 21, 947-961.
- Morales, J., Astilleros, J.M., Jiménez, A., Fernández-Díaz, L. (2011) Interacción de anhidrita con soluciones acuosas que contienen plomo. I. Evolución fisicoquímica del sistema. *Macla* 15.
- Ortega, L., Millward, D., Luque, F.J., Barrenechea, J.F., Beyssac, O., Huizenga, J.M., Rodas, M., Clarke, S.M. (2010) The graphite deposit at Borrowdale (UK): a catastrophic mineralizing event associated with Ordovician magmatism. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 2429-2449.
- Pérez-Garrido, C., Astilleros, J.M., Fernández-Díaz, L., Prieto, M. (2009) In situ AFM study of the interaction between calcite {10-14} surface and supersaturated Mn^{2+} - CO_3^{2-} aqueous solutions. *Journal of Crystal Growth* 311, 4730-4739.

- Pina, C.M, Pimentel, C., García-Merino, M. (2010) High resolution imaging of the dolomite (104) cleavage surface by atomic force microscopy. *Surface Science* 604, 1877-1881.
- Pina, C.M. (2011) Inhibition of growth in solid solution-aqueous solution systems by non-incorporating impurities. *Surface Science* 605, 545-550.
- Pina, C.M., Rico-García, A. (2009) Nanoscale anglesite growth on the celestite (001) face. *Surface Science* 603, 2708-2713.
- Pina, C.M., Jordan, G. (2010) Reactivity of mineral surfaces at nano-scale: kinetics and mechanisms of growth and dissolution. *EMU Notes In Mineralogy* 8, Published by the European Mineralogical Union and the Mineralogical Society of Great Britain & Ireland, London, pp. 239-323.
- Piña, R. Romero, I., Ortega, L., Lunar, R., Capote, R., Gervilla, F., Tejero, R., Quesada, C. (2010) Origin and emplacement of the Aguablanca magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposit, SW Iberia: A multidisciplinary approach. *Geological Society of America Bulletin* 122, 915-925.
- Piña, R., Gervilla, F., Barnes, S.J., Ortega, L., Lunar, R. (2011a) Distribution of platinum-group and chalcophile elements in the Aguablanca Ni-Cu sulfide deposit (SW Spain): evidence from a LA-ICP-MS study. *Chemical Geology* (doi:10.1016/j.chemgeo.2011.02.010).
- Romeo, I., Tejero, R., Capote, R., Lunar, R. (2008) 3D gravity modelling of the Aguablanca Stock, tectonic control and emplacement of a Variscan gabbro-norite bearing a Ni-Cu-PGE ore, SW Iberia. *Geological Magazine* 145, 345-359.
- Sánchez del Río, M., Boccaleri, E., Milanesio, M., Groce, G., van Beek, W., Suárez, M., García-Romero, E. (2009) A combined synchrotron powder diffraction and vibrational study of the thermal treatment of palygorskite-indigo to produce Maya Blue. *Journal of Material Science* 44, 5524-5536.
- Sánchez del Río, M., Doménech, A., Doménech-Carbó, M.T., Vázquez de Agredos Pascual, M.L., Suárez, M., García Romero, E. (2011). The Maya Blue Pigment. En: *Advances in the crystal chemistry of sepiolite and palygorskite*, E. Galán (ed.), Chapter 18. Elsevier.
- Sanchez del Rio, M., Suárez, M., García Romero, E., Alianelli, L., Felici, R., Martinetto, P., Dooryhée, E., Reyes-Valerio, C., Infm Bear Group. (2005) Mg K-edge XANES of sepiolite and palygorskite. *Materials Science. Nuclear Instruments and Methods B* 238, 55-60.
- Sánchez-Pastor, N., Gigler, A.M., Cruz, J.A., Park, S.H., Lordan, G., Fernández-Díaz, L. (2011) Growth of Calcium Carbonate in the Presence of Cr(VI). *Crystal Growth and Design* 11, 3081-3089.
- Sánchez-Pastor, N., Gigler, A.M., Jordan, G., Schmahl, W.W., Fernández-Díaz, L. (2011) Raman Study of Synthetic Witherite-Strontianite Solid Solutions. *Spectroscopy Letters* (en prensa).
- Stathopoulou, E.T., Suárez, M., García-Romero, E., Sánchez del Río, M., Kacandes, G., Gionis, V., Chryssikos, G.D. (2011) Trioctahedral entities in palygorskite: Near-infrared evidence for sepiolite-palygorskite polysomatism. *American Mineralogist* (doi:10.1127/0935-1221/2011/0023-2112).
- Suárez, M., García Romero, E., Sanchez del Río, M., Martinetto, P., Dooryhée, E. (2007) On the structure of palygorskite: Cell parameters' dependence on the octahedral content. *Clay Minerals* 42, 287-297.
- Suárez, M., García-Romero, E. (2006a) FTIR spectroscopic study of palygorskite. Influence of the composition of the octahedral sheet. *Applied Clay Science* 31, 154-163.
- Suárez, M., García-Romero, E. (2006b) Macroscopic palygorskite from Lisbom Volcanoclastic Complex. *European Journal of Mineralogy* 18, 119-126.

COMUNICACIONES CORTAS

Influencia del Atlántico Tropical en El Niño Pacífico e implicaciones climáticas

E. Mohino¹, B. Rodríguez-Fonseca^{1,2}, I. Polo³, T. Losada⁴, J. García-Serrano⁵, C.R. Mechoso⁶ y F. Kucharski⁷

¹Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. emohino@fis.ucm.es

²Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³NCAS-Climate Division, Department of Meteorology, University of Reading, PO Box 243, Earley Gate, RG66BB, Beckshire, Reading, Reino Unido.

⁴Facultad Ciencias del Medio Ambiente, Universidad Castilla-La Mancha. C/Cardenal Lorenzana 1, 45071 Toledo, España.

⁵Institut Català de Ciències del Clima (IC3). Doctor Trueta, 203, 08005 Barcelona, España.

⁶Dept. of Atmospheric Sciences, University of California, Los Angeles, California, USA.

⁷Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Earth System Section. Strada Costiera 11, 34151 Trieste, Italia.

El fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) se caracteriza en su fase positiva por un calentamiento anómalo de las temperaturas de la superficie del mar (TSM) en el este del Pacífico ecuatorial. Por su parte, el principal modo de variabilidad interanual en la cuenca del Atlántico se conoce como Modo Equatorial y presenta en su fase positiva un calentamiento de la TSM en el sureste del Atlántico tropical. Los trabajos realizados por diversos autores sugieren una influencia de El Niño Pacífico sobre su contraparte Atlántica. Sin embargo, estudios recientes realizados por el grupo TROPA muestran que en los últimos años del siglo XX el Modo Equatorial no sólo lideraba en 6 meses la aparición de la fase negativa de ENSO sino que también contribuía a su desarrollo (Rodríguez-Fonseca et al 2009). Esta relación entre ambos fenómenos es no-estacionaria, lo que resulta en modulaciones multidecadales de otros fenómenos climáticos. Un ejemplo es el monzón de África Occidental. En el periodo 1957-78 la fase positiva del Modo Equatorial conducía en verano a un incremento de la lluvia sobre el Golfo de Guinea y una reducción al norte de 10°N, sobre el Sahel (Mohino et al 2011a), lo que coincide con los resultados obtenidos con experimentos de sensibilidad realizados con modelos de circulación general de la atmósfera (Losada et al 2010). Sin embargo, en el periodo 1979-98, la fase positiva del Modo Equatorial se relaciona con un patrón anómalo de precipitación distinto, con un incremento generalizado de la lluvia sobre África Occidental. Mohino et al. (2011a) sugieren que esto está relacionado con que en este último periodo el Niño Atlántico se muestra conjuntamente con una Niña Pacífica (y viceversa) y que la acción combinada de ambos fenómenos conduciría a un aumento generalizado de la lluvia sobre el Monzón de África Occidental. Esta hipótesis se ha confirmado mediante una serie de experimentos de sensibilidad (Losada et al 2011, enviado).

Referencias

- Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B., Janicot, S., Gervois, S., Chauvin, F., Ruti, P. (2010) A multi-model approach to the Atlantic Equatorial mode: impact on the West African monsoon. *Clim. Dyn.* 35:29-43.
- Mohino, E., Rodríguez-Fonseca, B., Losada, T., Gervois, S., Janicot, S., Bader, J., Ruti, P., Chauvin, F. (2011a) Changes in the interannual SST-forced signals on West African rainfall. AGCM intercomparison. *Clim. Dyn.* (doi:10.1007/s00382-011-1093-2).
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., García-Serrano, J., Losada, T., Mohino, E., Mechoso, C. R., Kucharski, F. (2009) Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades?. *Geophys. Res. Lett.* 36, L20705.

Un nuevo mecanismo desencadenante de los eventos Heinrich del último período glacial

J. Álvarez-Solas^{1,2}, M. Montoya^{1,2} y R. Banderas^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. jorge.alvarez.solas@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II: Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

El clima del Cuaternario se caracteriza por la alternancia entre períodos interglaciales relativamente cálidos (similares al Holoceno actual), caracterizados por la existencia de dos mantos polares en el continente antártico y en Groenlandia, y períodos glaciales globalmente más fríos, en los que se desarrollan dos mantos de hielo adicionales sobre el continente norteamericano (el manto laurentino) y en Eurasia (el manto fenoscandinavo).

El estudio de los testigos de hielo provenientes de la Antártida y de Groenlandia, así como de los sedimentos marinos y continentales, ha revelado la existencia de una variabilidad milenaria en el sistema climático del Cuaternario, más pronunciada durante los períodos glaciales que durante los interglaciales. Dos tipos de explicaciones han sido propuestas: Un forzamiento periódico externo, o bien una oscilación de carácter interno al sistema climático, de cuyo origen, la circulación oceánica resulta el mejor candidato. Por otra parte, seis de los mínimos de temperatura del Hemisferio Norte presentan una mayor deposición de material detrítico en el fondo del océano Atlántico Norte conocidos como los acontecimientos de Heinrich. La presencia de este material rocoso de origen canadiense es el reflejo de la llegada de inmensas flotas de icebergs provenientes principalmente de los glaciares del manto laurentino, que habiendo frotado el lecho rocoso incorporaron los detritos al hielo. El mecanismo exacto que permite la formación de tales armadas de icebergs es objeto hoy en día de una apasionante controversia (Álvarez-Solas 2010). En este trabajo se presenta un nuevo mecanismo desencadenante de los eventos Heinrich, que en contraposición con el clásico (de origen interno al manto Laurentino) demuestra cómo los cambios en la circulación oceánica meridional acaban provocando una ruptura de las plataformas flotantes de hielo del manto laurentino y por extensión una aceleración de los ríos de hielo y una purga masiva de icebergs hacia el Océano Atlántico.

Referencias

- Álvarez-Solas, J., Charbit, S., Ritz, C., Paillard, D., Ramstein, G., Dumas, C. (2010) Links between ocean temperature and iceberg discharge during Heinrich events. *Nature Geoscience* 3, 122-126.

Simulaciones de cambio climático abrupto glacial con un modelo de complejidad intermedia

R. Banderas^{1,2}, J. Álvarez-Solas^{1,2} y M. Montoya^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. jorge.alvarez.solas@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II: Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

El último período glacial (hace entre 110-10 mil años), se caracteriza por la existencia de un número elevado de eventos abruptos enmarcados en las escalas temporales de variabilidad milenaria. Esta variabilidad se ve gobernada fundamentalmente por dos tipos de sucesos: los eventos Dansgaard-Oeschger (DO) y los eventos Heinrich. Los primeros se manifiestan en forma de saltos abruptos de temperatura del orden de 10 K en decenas de años en la región del Atlántico Norte. Por otro lado, los sucesos Heinrich se caracterizan por una deposición anómalamente rápida de detritos terrígenos (IRD) en una amplia franja del Atlántico Norte y que se interpreta como el resultado de la descarga masiva de hielo en forma de icebergs procedente fundamentalmente del manto laurentino en intervalos de aproximadamente 10 mil años y en épocas glaciales.

Los principales candidatos para explicar este tipo de sucesos son los cambios en la circulación oceánica del Atlántico Norte (AMOC). Han sido numerosos los esfuerzos que se han invertido en las últimas décadas para entender las causas que producen este tipo de eventos. Sin embargo, todavía se desconocen cuáles son los desencadenantes de un DO. Estudios recientes basados en sedimentos marinos sugieren que los incrementos de CO₂ atmosférico ocurridos durante la última glaciación y durante el último período glacial estuvieron precedidos por intensos afloramientos de agua profunda en la franja latitudinal del estrecho de Drake. A su vez, estas situaciones de afloramiento habrían sido propiciadas por la intensificación y/o desplazamiento de los vientos del Oeste característicos a esas latitudes. De esta manera, las transiciones entre estados intenso y débil de formación de agua profunda en el Atlántico Norte (NADW) controladas por las reorganizaciones en el sistema de vientos y por los cambios en la concentración de CO₂ atmosférico serían las responsables de desencadenar un calentamiento abrupto en la región de los mares Nórdicos.

El objetivo fundamental es investigar si un desplazamiento y/o una intensificación de los vientos del Oeste del Hemisferio Sur y los cambios en la concentración de CO₂ atmosférico son capaces de intensificar la formación de agua NADW desencadenando un calentamiento abrupto en esa región. Con este fin, se ha llevado a cabo un estudio con el modelo de complejidad intermedia CLIMBER-3α. El análisis de las simulaciones efectuadas con este modelo sugiere que la intensificación del viento en la latitud del pasaje de Drake y los cambios en el campo de CO₂ atmosférico son capaces de desencadenar una intensificación de la AMOC y un incremento abrupto de temperatura en la región de los mares Nórdicos.

Simulaciones climáticas del último milenio: explorando diferentes respuestas al forzamiento externo

L. Fernández-Donado^{1,2}, J.F. González-Rouco^{1,2}, C.C. Raible³, D. Barriopedro⁴, J. Luterbacher⁵, J.H. Jungclauss⁶, D. Swingedouw⁷, J. Servonnat⁷, S. Tett⁸, P. Brohan⁹, E. Zorita¹⁰, S. Wagner¹⁰ y C.M. Ammann¹¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. laurafernandez@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II: Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³Physics Institute, University of Bern, Suiza.

⁴Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal.

⁵Justus Liebig University of Giessen, Alemania.

⁶Max Planck Institute, Hamburg, Alemania. ⁷Le Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement (LSCE), Paris, Francia. ⁸School of Geosciences, University of Edinburgh, Reino Unido. ⁹Hadley Centre, Reino Unido. ¹⁰Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Alemania. ¹¹National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA.

Se analizan las simulaciones climáticas del último milenio procedentes de 7 modelos climáticos de alta complejidad (AOGCMs): ECHO-G (González-Rouco et al 2006), CCSM3 (Hofer et al 2010), CSM1.4 (Ammann et al 2007), CNRM (Swingedouw et al 2010), IPSL (Servonnat et al 2010), MPI-ESM (Jungclauss et al 2010) y HadCM3 (Tett et al 2007). Puesto que cada modelo presenta una configuración de forzamiento externo aplicado, se realiza una caracterización de las mismas. Se presta especial atención a las diferentes estimaciones del forzamiento solar, donde se distinguen dos claros grupos de variabilidad.

La respuesta en temperatura obtenida por las simulaciones es comparada con las reconstrucciones climáticas disponibles para el último milenio, a fin de aunar las dos fuentes de información. Estudiando la respuesta de las simulaciones al forzamiento externo aplicado se encuentra una relación lineal entre ambos en escalas multidecadales, mientras que la relación lineal entre las reconstrucciones y el forzamiento externo aparece de forma menos robusta. Se calculan valores preliminares de paleo-sensibilidad climática transitoria para los diferentes AOGCMs.

Referencias

- Ammann, C., Joos, F., Schimel, D., Otto-Bliesner, B., Tomas, R. (2007) Solar influence on climate during the past millennium: Results from transient simulations with the NCAR Climate System Model. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 3713.
- González-Rouco, J., Beltrami, H., Zorita, E., von Storch H., (2006) Simulation and inversion of borehole temperature profiles in surrogate climates: Spatial distribution and surface coupling. *Geophysical Research Letters* 33, L01703.
- Hofer, D., Raible, C., Stocker, T. (2011) Variations of the Atlantic Meridional circulation in control and transient simulations of the last millennium. *Climate of the Past* 7(21), 133-150.
- Jungclauss, J., Lorenz, S., Timmreck et al. (2010) Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. *Climate of the Past* 6, 723-737.
- Servonnat, J., Yiou, P., Khodri, M., Swingedouw, D., Denvil, S. (2010) Influence of solar variability, CO₂ and orbital forcing between 1000 and 1850 AD in the IPSLCM4 model. *Climate of the Past* 6, 445-460.
- Swingedouw, D., Terray, L., Cassou, C., Voldoire, A., Salas-Melia, D., Servonnat, J., Yiou, P., Khodri, M., Denvil, S. (2010) Natural forcing of climate during the last millennium: fingerprint of solar variability. *Climate Dynamics* (on line).
- Tett, S., Betts, R., Crowley, T., Gregory, J., Johns, T., Jones, A., Osborn, T., Ostrom, E., Roberts, D., Woodage, M. (2007) The impact of natural and anthropogenic forcings on climate and hydrology since 1550. *Climate Dynamics* 28(1), 3-34.

Los minerales del grupo de los APS en las rocas sedimentarias continentales del Triásico Inferior-Medio del SE de la Cordillera Ibérica: Implicaciones en la recuperación de la crisis Permo-Triásica

J.F. Barrenechea^{1,2}, A.B. Galán Abellán^{1,3}, R. de la Horra^{1,3}, M.I. Benito^{1,3}, J. López-Gómez¹, A. Arche¹, F.J. Luque^{1,2}, M. Lago⁴ y J. Alonso-Azcárate⁵

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. barrene@geo.ucm.es

²Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad Zaragoza. C/Pedro Cerbuna s/n, 50009 Zaragoza, España.

⁵Dpto. Química Física, Facultad Ciencias del Medio Ambiente, Universidad Castilla-La Mancha. C/Cardenal Lorenzana 1, 45071 Toledo, España.

El Triásico Inferior es un periodo que se caracteriza por una generalizada escasez en el registro fósil en todo el mundo, consecuencia de la gran crisis biótica del límite Pérmico-Triásico. Nuestro grupo de investigación ha estudiado en los últimos años los sedimentos continentales (facies Buntsandstein) de edad Triásico-Inferior-Medio del E de la Península Ibérica (Cordillera Ibérica y Cordillera Costero Catalana), para establecer cómo y cuándo comenzó la recuperación biótica en esta zona del W del Tethys en ambientes continentales. El estudio combinado de los cambios en la sedimentología, la mineralogía y la geoquímica marca una serie de variaciones en las condiciones ambientales, determinantes en la recuperación biótica antes citada, y que han quedado reflejadas también en el registro paleontológico.

Uno de los aspectos más llamativos es la presencia, en todas las series estudiadas, de niveles con proporciones variables de minerales del grupo de los sulfatos-fosfatos aluminicos (APS) ricos en Sr. El estudio trata de establecer el momento, las condiciones y los mecanismos de formación de estas fases, y discutir las implicaciones en el contexto de la recuperación biótica y medioambiental.

Los APS se presentan como cristales diseminados idiomorfos pseudo-cúbicos (0.5 a 6 µm de tamaño) o como agregados policristalinos que reemplazan fragmentos de metapelitas. Los datos texturales indican que la formación de los APS es anterior a los cementos de cuarzo e illita, y que el reemplazo de los fragmentos de roca ocurrió poco después de la sedimentación, durante la diagénesis temprana, antes de la compactación de los sedimentos. La composición de los APS es bastante homogénea en todas las series, y corresponde a soluciones sólidas entre woodhouseita, svanbergita, crandallita y goyazita. La presencia de minerales APS en estas unidades puede considerarse como evidencia de unas condiciones oxidantes y ácidas en las aguas meteóricas responsables de su formación, con las importantes implicaciones que esto supone en la reconstrucción de las condiciones paleoambientales durante el Triásico Inferior-Medio.

Finca Experimental La Higuera: Investigaciones sobre la degradación de los recursos edáficos por procesos erosivos en sistemas agrícolas y otros medios antrópicos (1992-2011)

S. de Alba^{1,2}, J.F. Martín Duque^{1,2}, M. Alcázar^{1,2}, F. Barbero^{1,2} y F.I. Cermeño^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede de la Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. Sdealba@geo.ucm.es

²Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

Se presentan las instalaciones y recursos de la Finca Experimental La Higuera, así como un resumen de las actividades realizadas en la misma por este grupo de investigación desde el año 1992. Como objetivo último se plantea dar a conocer a la comunidad científica del IGEO el enorme potencial que a nuestro juicio presenta La Higuera como laboratorio experimental de campo para sus distintos grupos de investigación, así como para otros externos relacionados con las Ciencias de la Tierra. Esta finca pertenece al CSIC desde el año 1972, está situada en el municipio de Santa Olalla (Toledo), a escasos 80 km de la ciudad de Madrid (Ctra. N-V), y tiene una extensión de 90 ha. La diversidad de agrosistemas presentes, como el encinar adehesado, soto de ribera, chopera repoblada, olivar, viñedo, cultivos herbáceos y hortalizas, así como la diversidad de tipos de suelo, hacen que la finca constituya un escenario verdaderamente representativo del paisaje del semiárido mediterráneo. Así mismo, destaca que la finca cuenta con un equipamiento completo para el desarrollo de todo tipo de trabajos experimentales que requieran espacios al aire libre o cerrado (naves y laboratorios), movimientos de tierras y agua, equipos de riego, agua desionizada (equipo de ósmosis inversa), laboratorio de preparación de muestras...

Nuestro grupo de investigación trabaja en esta finca desde 1992, cuando instaló el *Campo Experimental sobre Erosión en Suelos Agrícolas*. Actualmente, ese *Campo* cuenta con más de un total de 50 parcelas de erosión tipo USLE (28 de 36 m² y 24 de 0.25 m²), en las que se monitorizan las repuestas hidrológicas y erosivas de los principales usos y manejos agrícolas del secano mediterráneo. Actualmente se dispone de una serie de datos ininterrumpida de 18 años (1992-2011), 1198 episodios de lluvia registrados y más de 18000 datos evento/parcela; todo ello representa una referencia única a nivel internacional. Adicionalmente se dispone de simuladores de lluvia de campo y laboratorio para parcelas experimentales de hasta 33 m². Para el estudio de los efectos de la erosión mecánica producida por las labranzas (*tillage erosion*) el grupo tiene activos tres campos experimentales de 20, 6 y 2 ha. En otro tipo de escenarios antrópicos, se dispone de un talud experimental (2 ha) para el control de la estabilidad superficial de taludes de infraestructuras lineales. Así como la próxima instalación de diversos campos experimentales para la construcción a escala (aprox. 1 ha) de modelos de reconstrucción geomorfológica de escenarios de restauración de espacios degradados por movimientos de tierras, en los que evaluar la respuesta hidrológica y erosiva de diferentes alternativas de modelado geomorfológico. Finalmente, cabe citar el proyecto de construcción de un macrosimulador de lluvia (denominado RAINMAKER), que permitirá realizar experimentos con lluvia simulada a la escala de ladera, sobre superficies superiores a 1600 m²; y que sin duda representará un verdadero referente para la comunidad científica internacional sobre erosión hídrica e hidrología superficial.

Variabilidad de la circulación a gran escala y el contenido de calor oceánico en el periodo 1000 a 2100 DC

P. Ortega^{1,2}, J.F. González-Rouco^{1,2}, M. Montoya^{1,2}, E. Hawkins³, R. Sutton³, J. Mignot⁴, S. Legutke⁵ y H. Beltrami⁶

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. portegam@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II: Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³NCAS-Climate, Dept. Meteorology, University of Reading. RG6 6BB Reading, Reino Unido.

⁴IPSL/LOCEAN, UPMC/CNRS/IRD/MNHN, Université Pierre et Marie Curie. 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, Francia.

⁵Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ). Bundesstrasse 54a, 20146 Hamburg, Alemania.

⁶Dept. Earth Sciences, St Francis Xavier University. Physical Sciences Complex, 2028 Antigonish, Canada.

El estudio del clima del último milenio se centra normalmente en variables que responden directamente a los cambios radiativos, como la temperatura en superficie. El océano responde lentamente a estas variaciones, y por tanto ha recibido menos atención. Sin embargo, su importancia es fundamental dentro del contexto reciente de cambio climático, ya que domina la absorción y juega un papel activo en el transporte de calor del sistema climático terrestre. De hecho, un debilitamiento en la intensidad de la circulación oceánica, responsable de la redistribución de calor desde el ecuador hacia las altas latitudes, puede llegar a modular sensiblemente la señal de calentamiento global.

Nuestro trabajo se sitúa en este contexto, tratando de profundizar en la influencia del forzamiento en la variabilidad de la circulación (Ortega et al 2011a) y contenido de calor oceánicos (Ortega et al 2011b) durante el último milenio. Para ello se han analizado seis simulaciones climáticas con el modelo de circulación general ECHO-G: dos experimentos de control, dos del último milenio y dos correspondientes a escenarios de cambio climático.

Los impactos más importantes identificados en este estudio corresponden a la influencia de los gases de efecto. Con el comienzo de la era industrial la circulación experimenta un debilitamiento progresivo, que supone al final de los escenarios de futuro una reducción de un 40% con respecto al promedio preindustrial. Asimismo, los cambios en el contenido de calor tienen asociado un aumento del nivel del mar por expansión térmica de 0.14 a 0.17 m.

Además, del resto de forzamientos, los volcanes muestran un mayor impacto que la actividad solar. La señal de enfriamiento asociada a los volcanes penetra paulatinamente en el océano, donde persiste durante al menos una década. En periodos de intenso volcanismo, la integración de esta señal produce cambios multidecadales en el contenido de calor global. Asimismo, el enfriamiento en las regiones de convección favorece la formación de agua profunda, llegando incluso a producir una ligera intensificación de la circulación oceánica en el Atlántico.

Referencias

- Ortega, P., Montoya, M., González-Rouco, J.F., Mignot, J., Legutke, S. (2011a) Variability of the Atlantic meridional overturning circulation in the last millennium and two IPCC scenarios. *Clim. Dyn.* (doi:10.1007/s00382-011-1081-6).
- Ortega, P., González-Rouco, J.F., Montoya, M., Beltrami, H. (2011b) Variability of the ocean heat content during the last millennium. An assessment with the ECHO-G Model. (En preparación).

Estudio de la topografía dinámica resultante del hundimiento asimétrico de una raíz densa: el caso de Sierra Nevada, California

J.L. Valera^{1,2}, A. M. Negredo^{1,2}, M. I. Billen³ y I. Jiménez-Munt⁴

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. jvalera@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³Dept. of Geology, University of California, Davis, Davis, CA 95616, USA.

⁴Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC). C/Lluís Solè i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España.

El hundimiento asimétrico de una raíz densa es uno de los modelos que se proponen para explicar la rápida remoción de manto litosférico ocurrida bajo la rama sur de Sierra Nevada hace entre 8 y 3 Ma. Los estudios tomográficos muestran que, en esa región, se observa una estructura de alta velocidad orientada hacia el este que alcanza los 200 km de profundidad.

En este trabajo se presenta un modelo termo-mecánico basado en el hundimiento asimétrico de una raíz de alta densidad con intrusión lateral de material astenosférico. La estructura final de la litosfera y del manto superior se muestran compatibles con las imágenes tomográficas. La profundidad y la geometría en forma de V observadas para la Moho en esta región son reproducidas satisfactoriamente por nuestro modelo.

Se presentan también los resultados predichos por el modelo para la topografía dinámica, calculada a partir de marcadores utilizando el enfoque del 'sticky air'. Este enfoque requiere la inclusión de una capa fluida de muy baja viscosidad en la parte superior del modelo como una aproximación de la respuesta del aire (muy viscoso) o de unos sedimentos (ligeros). La interfaz entre la corteza superior y esta capa fluida se comporta entonces como una superficie libre. Según estos resultados, la topografía predicha muestra un área de subsidencia al oeste de las zonas elevadas debida al arrastre ejercido por el hundimiento de una raíz de alta densidad. La localización del área de máxima elevación predicha no corresponde con el área de ascenso astenosférico, sino con la remoción de la raíz densa de debajo de un batolito granítico de alta flotabilidad.

El modelo predice una zona de pronunciada deformación de cizalla entre la corteza inferior y la raíz densa, debido al flujo astenosférico en dirección oeste. Esta región de deformación de cizalla proporciona una explicación simple para la anisotropía sísmica observada cerca de la Moho en la región sur de Sierra Nevada.

El centro de interpretación de la Cueva de Castañar: un ejemplo de difusión de la investigación en Geología Sedimentaria

A. Martín Pérez¹, A.M. Alonso Zarza^{1,2}, R. Martín García², I. Gil Peña³, A. Meléndez⁴, M.J. Herrero¹ y A. Rodríguez Berriguete¹

¹Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. andreamartin@geo.ucm.es

²Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, España.

⁴Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad Zaragoza. C/Pedro Cerbuna s/n, 50009 Zaragoza, España.

La Cueva de Castañar de Ibor, en el municipio del mismo nombre, en Cáceres, es una cueva que destaca por la abundancia, diversidad y belleza de sus espeleotemas. Desde que fue declarada Monumento Natural, en 1997, los estudios científicos han convivido con un uso turístico, aunque restringido, de la cavidad. Nuestro grupo de investigación ha trabajado intensamente en el estudio petrológico tanto de los espeleotemas como de la roca caja de esta cueva. La roca caja esta fundamentalmente formada por materiales siliciclásticos -grauvacas y pizarras-, y niveles de dolomías y magnesitas que al disolverse promueven el inicio de formación de la cueva. Uno de los atractivos de la Cueva de Castañar es la abundancia de espeleotemas de aragonito, de llamativas morfologías fibrosas. La abundancia relativa de aragonito frente a calcita se puede explicar por los altos contenidos en Mg^{2+} de las aguas, producidos por la disolución de los carbonatos ricos en magnesio de la roca caja. Así mismo, el alto contenido en Mg^{2+} en el agua explica la presencia en los espeleotemas de minerales magnésicos como la huntita, magnesita, dolomita, hidromagnesita y sepiolita, que no son muy frecuentes en otras cuevas. Por otra parte, debido a la variación a lo largo del tiempo de la composición química de las aguas, los espeleotemas de la cueva están afectados por diversos procesos diagenéticos. Así, es posible reconocer procesos de micritización tanto de aragonito como de calcita, procesos de disolución de los espeleotemas de ambas mineralogías a micro y macroescala, procesos de transformación aragonito-calcita (inversión) y procesos de dolomitización. La identificación de estos procesos y su caracterización detallada tiene un doble interés: nos ofrece una oportunidad de estudiar con detalle la diagenesis meteórica en un área de estudio privilegiada, y al mismo tiempo nos permite valorar la importancia de los procesos naturales en la alteración de los espeleotemas y evaluar el papel antrópico tanto en la alteración como en la conservación de la cueva.

Todos estos estudios junto con otros como el microclima de la cueva han quedado plasmados, de una manera didáctica, en el centro de interpretación de la Cueva de Castañar, recientemente renovado y reestructurado. La colaboración en la reforma del centro se ha plasmado en los siguientes aspectos: 1) Asesoramiento y aporte de información obtenida durante la investigación, 2) Material audiovisual; se han realizado diversos videos en los que se explica como se llevan a cabo los estudios científicos de la Cueva de Castañar y su entorno y se ha colaborado en el guión e imágenes de un documental 3D, de 13 minutos de duración, 3) Aporte de material gráfico procedente de estudios petrográficos de distintos tipos, entre otros de microscopía, 4) Creación de paneles divulgativos. En estos paneles se explica la formación de la cueva, sus características y descripción de las salas, cuales son los espeleotemas y minerales primarios y secundarios, y la importancia de la protección de la cueva.

De esta manera, los estudios realizados en la Cueva de Castañar permiten reconocer el valor científico de la misma, y también sirven para evaluar su fragilidad de cara a su mejor conservación. La colaboración de los grupos de investigación en el diseño del centro de interpretación se convierte en una herramienta importante en la transmisión de valores científicos a la sociedad, y es fundamental para concienciar a los visitantes de la necesidad de proteger un lugar tan especial como es la Cueva de Castañar.

Carbonatos continentales en contextos geológicos poco frecuentes: el caso del travertino de Azuaje (Gran Canaria)

A. Rodríguez-Berriguete¹, A.M. Alonso-Zarza^{1,2}, M.C. Cabrera³ y F.J. Pérez-Torrado³

¹Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. arberriguete@pdi.ucm.es

²Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Física GEOVOL, Campus de Tafira, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. C/Juan de Quesada 30, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, España.

Los depósitos carbonáticos continentales se desarrollan en una amplia variedad de contextos geológicos, generalmente relacionados con la presencia de rocas sedimentarias previas, que aportan calcio al ser meteorizadas. Por otra parte, se han descrito depósitos carbonáticos en contextos en los que el calcio no necesariamente procede de rocas sedimentarias. Este sería el caso de contextos volcánicos y/o hidrotermales, donde se pueden formar carbonatos.

El depósito de Azuaje es un travertino mayoritariamente aragonítico, desarrollado sobre un sustrato volcánico, en el interior del Barranco de Azuaje (Gran Canaria). El barranco está situado en la mitad Norte de la isla, bajo clima húmedo templado con altas precipitaciones (>1.000 mm/año). Las facies desarrolladas en Azuaje presentan rasgos identificativos de depósitos travertínicos y, en menor medida, tobáceos de carácter fluvial, interpretándose como una sucesión de pequeñas cascadas y pozas. No obstante, estas facies presentan un aspecto peculiar, debido a su mineralogía aragonítica.

Se han descrito cuatro facies a escala de muestra de mano (laminar, masiva, de *coated grains* y tobácea), que engloban diversas microfacies. La facies laminar consiste en finas bandas que pueden conformar estructuras planares a dómicas o incluso concéntricas. Las microfacies que conforman estas facies laminares son laminar (fibrosa y micrítica), de *shrubs*, de *rafts*, burbujas con cubiertas y laminar cristalina gruesa. La facies masiva consiste en una matriz micrítica con elevada porosidad de tamaño milimétrico a centimétrico. Suele contener diatomeas. La facies de *coated grains* presenta granos de tamaño milimétrico a centimétrico. A escala microscópica se observan dos tipos: uno semejante a perlas de cueva, con envueltas regulares, y otro tipo con envueltas mamelonadas y que puede tener *shrubs* en su parte más externa. La facies tobácea es calcítica y presenta porosidad móldica de elementos vegetales. Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (+4.0 a +11.0‰ PDB) y de $\delta^{18}\text{O}$ (-2.0 a -11.0‰ PDB), son típicos de carbonatos generados a partir de aguas de procedencia hidrotermal. La mineralogía aragonítica y la escasa presencia de organismos indicarían temperaturas del agua cercanas a 40°C.

La inexistencia de carbonatos previos amplía las opciones para el aporte de calcio. Dicho elemento podría proceder de las aguas hidrotermales, que lo incorporarían en profundidad, o bien mediante la meteorización de las rocas volcánicas, que en general tienen contenidos importantes en calcio. No puede descartarse la posibilidad de un aporte eólico desde el desierto del Sáhara.

The Blake event recorded in a speleothem from Cobre Cave, Palencia, Spain

M.L. Osete^{1,2}, J. Martín-Chivelet^{3,4}, C. Rossi⁵, R. L. Edwards⁶, R. Egli⁷, M.B. Muñoz-García^{3,4}, X. Wang⁶, F.J. Pavón-Carrasco^{1,2} and F. Heller⁸

¹*Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, Spain. mlosete@fis.ucm.es*

²*Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, Spain.*

³*Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, Spain.*

⁴*Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, Spain.*

⁵*Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, Spain.*

⁶*Dept. of Geology and Geophysics, University of Minnesota. MN 55455, USA.*

⁷*Dept. für Geo- und Umweltwissenschaften, Ludwig-Maximilians Universität. 80333 München, Germany.*

⁸*Institut für Geophysik. ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich, Switzerland.*

For the first time a geomagnetic anomaly consisting in two periods of reversed polarity has been documented in a stalagmite which has been absolute-dated. The stalagmite is 68 cm-long and was recovered from Cobre Cave, northern Spain. Its characteristic remanent magnetization is carried by fine-grained magnetite. On the basis of 13 ICP-MS ²³⁰Th dates, the anomalous event which is located in the marine substages 5e/5d, occurred at the same time as the Blake event.

The event in the speleothem is documented by two reversed intervals (B1 and B2), with B1 being clearly reversely magnetized. The age of the event is estimated to be between 116.3 ± 1.6 kyr BP and 110.9 ± 1.8 kyr BP, and the duration is 5.4 kyr. In addition to these two periods of reversed polarity, a low inclination departure (B0) from the dipolar field of more than 45° has also been observed in the interval $119.5\text{--}118.8 \pm 1.7$ kyr BP. Relative palaeointensity estimates suggest a relative maximum in the intensity of the palaeofield coeval with the complete reversal during the B1 event.

References

Osete, M.L., Martín-Chivelet, J., Rossi, C., Edwards, R.L., Egli, R., Muñoz García, M.B., Wang, X., Pavón-Carrasco, F.J., Heller, F. The Blake geomagnetic event recorded in an absolute-dated speleothem (in prep).

Arqueomagnetismo en la Península Ibérica y el norte de África

G. McIntosh^{1,2}, G. Catanzariti², M. Gómez-Paccard³ y M.L. Osete^{1,2}

¹Instituto de Geociencias (UCM-CSIC), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. gregc@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC). C/Lluís Solè i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España.

El arqueomagnetismo trata del estudio del campo geomagnético a lo largo del pasado arqueológico, es decir, del orden de los últimos 10.000 años. Consiste en determinar cómo la dirección y/o la intensidad del campo geomagnético han quedado grabadas en sedimentos o materiales calentados (hornos de cocción de cerámica, vidrio, pan etc., la cerámica, yacimientos incendiados...). Un material calentado típicamente preserva una termo-remanencia que lleva la misma dirección que tenía el campo geomagnético en el momento que el material se enfrió y que tiene una intensidad de imanación proporcional con el mismo campo. El Grupo de Paleomagnetismo de la UCM inició sus estudios arqueomagnéticos en 1996 y, desde entonces, ha llevado a cabo estudios diversos a lo largo de cuatro trabajos doctorales, dos investigadores post-doctorales y cinco proyectos nacionales e internacionales. Los estudios tienen un carácter multi-disciplinar e internacional, implicando científicos de España, Europa, África y Japón con conocimientos geofísicos, geomagnéticos y arqueológicos. Los esfuerzos del equipo investigador han permitido el desarrollo de la primera base de datos arqueomagnéticos para Iberia y la primera curva de referencia para la variación secular del campo geomagnético para la Península Ibérica (Gomez-Paccard et al 2006). Como consecuencia, el grupo ha avanzado el conocimiento y modelización del campo geomagnético y sus variaciones regionales. Tanto la curva de referencia de la variación secular como los modelos geomagnéticos regionales ofrecen un herramienta para datar restos arqueológicos calentados (p.ej. Catanzariti et al 2009). Con el objeto de mejorar la distribución temporal de los datos, el grupo está trabajando en periodos arqueológicos con escasos estudios, como las Edades Oscuras (siglos 5-9 dC, Gomez-Paccard et al, aceptado). También se trabaja para mejorar la distribución geográfica de sitios estudiados, por ejemplo en el continente africano (Catanzariti et al, enviado). Finalmente, el grupo ha iniciado estudios sobre la intensidad del campo geomagnético. Esto último permite definir el vector total del campo, mejorar el modelado del campo y refinar la datación arqueomagnética.

Referencias

- Catanzariti, G., McIntosh, G., Monge Soares, A.M., Diaz-Martinez, E., Kresten, P., Osete, M.L. (2008) Archaeomagnetic dating of a vitrified wall at the Late Bronze Age settlement of Misericordia (Serpa, Portugal). *J. Arch. Sci.* 35, 1399-1407.
- Catanzariti, G., Gomez-Paccard, M., McIntosh, G., Pavon-Carrasco, F.J., Chauvin, A., Osete, M.L. New archaeomagnetic data recovered from the study of Roman and Visigothic remains from central Spain (3rd-7th centuries). *Geophys. J. Int.* (enviado).
- Gomez-Paccard, M., Chauvin, A., Lanos, P., McIntosh, G., Osete, M.L., Catanzariti, G., Ruiz-Martinez, V.C., Núñez, J.I. (2006) First archaeomagnetic secular variation curve for the Iberian Peninsula: Comparison with other data from western Europe and with global geomagnetic field models. *G³* Q12001 (doi:10.1029/2006GC001476).
- Gomez-Paccard, M., McIntosh, G., Chauvin, A., Beamut, E., Pavon-Carrasco, F.J., Thiriot, J. Archaeomagnetic and rock magnetic study of six kilns from North Africa (Tunisia and Morocco). *Geophys. J. Int.* (aceptado).

Anisotropía magnética en cristales naturales de hematites

F. Martín-Hernández^{1,2} y S. Guerrero-Suárez²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. fatima@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

Hematites es un óxido de hierro (Fe_2O_3) que cristaliza en el sistema hexagonal, estructura antiferromagnética con un pequeño momento residual que yace en el acusado plano basal. Esta fuerte anisotropía hace que la imanación no fosilice en la dirección del Campo Magnético de la Tierra, sino que eventualmente sufre una deflexión al estar forzada a permanecer en el plano basal. Este mineral es portador de imanación remanente en multitud de terrenos geológicos, como lechos rojizos o carbonatos. Esta es la razón por la que su estructura magnetocristalográfica es de gran interés. La estructura cristalográfica hace suponer un plano basal con tres ejes fáciles de imanación, coincidiendo con los ejes cristalográficos. Sin embargo, la estructura magnética no siempre se ha medido como triaxial, reportando multitud de autores una estructura uniaxial de forma empírica (Morrish 1994). El trabajo presentado realiza medidas empíricas de anisotropía magnética en el plano basal de cristales naturales de hematites. El estudio se completa con un análisis detallado de magnetismo de rocas con la intención de determinar qué factores hacen que el plano basal se comporte como un plano de anisotropía uniaxial o triaxial.

Entre los factores que se han estudiado, aparecen la composición química, las inclusiones en la red cristalina, las impurezas de carácter magnético y las propiedades magnéticas de hematites. El estudio refleja que aquellas muestras en las que la anisotropía en el plano basal es de tipo triaxial tienen una compleja dependencia de los parámetros clásicos derivados de las medidas de histéresis con la temperatura. Sin embargo, en aquellas muestras en las que el plano basal tiene anisotropía uniaxial no existe una variación de los parámetros de histéresis con el aumento de la temperatura (Martín-Hernández y Guerrero-Suárez 2011).

Así mismo, las medidas a bajos campos (2-450 A/m) han mostrado una dependencia similar de los ejes de anisotropía dentro del plano basal. Esto hace suponer que esta característica es independiente del estado de dominios y, por lo tanto, está relacionado con las propiedades magnetoelásticas de hematites (Guerrero-Suárez y Martín-Hernández 2011).

Referencias

- Martín-Hernández, F., Guerrero Suárez, S. (2011) Magnetic anisotropy of hematite single crystals: high field experiments. *International Journal of Earth Sciences* (doi:10.1007/s00531-011-0665-z).
- Morrish, A.H. (1994) Canted antiferromagnetism: hematite. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Guerrero Suárez, S., Martín-Hernández, F. (2011) Magnetic anisotropy of hematite single crystals: increasing low field strength experiments. *International Journal of Earth Sciences* (doi:10.1007/s00531-011-0666-y).

Modelado de la variación secular del campo magnético de la Tierra en los últimos 10000 años

F.J. Pavón-Carrasco^{1,2}, M.L. Osete^{1,2} y J.M. Torta³

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. fjpavon@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra I, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³Observatori de l'Ebre (CSIC-Universitat Ramon Llull). C/Horta Alta 38, 43520 Roquetes, España.

En este trabajo se proponen los primeros modelos regionales del campo geomagnético en la región europea basados en datos paleomagnéticos (datos arqueomagnéticos y datos de sedimentos lacustres). En conjunto, los modelos regionales obtenidos permiten analizar la variación paleosecular del campo geomagnético en los últimos 8000 años: desde el año 6000 a.C. hasta el 1900 d.C., conectando así con los modelos instrumentales, como el IGRF. Se han analizado numerosas estrategias para la inversión espacial de los datos paleomagnéticos mediante el uso de la técnica de modelado regional con armónicos en un casquete esférico SCHA y de su revisión R-SCHA2D. En el dominio temporal, todos los modelos se han obtenido mediante el uso de ventanas móviles solapadas dependientes de las características del dato paleomagnético.

Los nuevos modelos regionales obtenidos, llamados SCHA.DIF.3K (Pavón-Carrasco et al 2009) y SCHA.DIF.8K (Pavón-Carrasco et al 2010), pueden ser usados para analizar la variación paleosecular del campo geomagnético en Europa en los últimos 8000 años y sus características: aparición de jerks arqueomagnéticos, la posible (o causal) relación entre Campo Magnético de la Tierra y cambio climático, o la hipótesis del Dipolo Geocéntrico Axial (GAD). Además se ha demostrado con casos prácticos cómo pueden ser usados como herramienta de datación arqueológica (Pavón-Carrasco et al 2011).

Referencias

- Pavón-Carrasco, F.J., Rodríguez-González, J., Osete, M.L., Torta, J.M. (2011) A matlab tool for archaeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science* 38(2), 408-419.
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M. (2010) Regional modeling of the geomagnetic field in Europe from 6000 to 1000 B.C. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q11008 (doi:10.1029/2010GC003197).
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M., Gaya-Piqué, L.R. (2009) A regional archaeomagnetic model for Europe for the last 3000 years, SCHA.DIF.3K: applications to archaeomagnetic dating. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 10, Q03013 (doi:10.1029/2008GC002244).

Desarrollo de un modelo numérico para la simulación de dinámica magma-roca

M. Charco¹ y P. Galán del Sastre²

¹*Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Matemáticas. Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, España. mcharco@iag.csic.es*

²*Dpto. Matemática Aplicada al Urbanismo, a la Edificación y al Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid (ETSA-UPM). Avda. Juan de Herrera 4, 28040 Madrid, España.*

El estudio de áreas volcánicas activas depende tanto de la disponibilidad de observaciones físicas de los cambios que se producen en el medio natural como de la interpretación de estos cambios. Así, hoy en día, el desarrollo y aplicación de técnicas geodésicas y geofísicas, como la interferometría rádar, GNSS, microgravimetría, etc., están proporcionando una visión sin precedentes de las deformaciones y/o variaciones de gravedad registradas en zonas volcánicas.

Estas deformaciones y/o variaciones del campo de gravedad se corresponden con la expresión en superficie de distintos procesos de origen magmático e hidrotermal, de difícil observación y registro, que se producen en el interior del medio. En este sentido, el desarrollo de modelos matemáticos para el estudio de la dinámica magma-roca encajante permite establecer un enlace directo entre los procesos magmáticos e hidrotermales en profundidad y las deformaciones del terreno, lo que podría resultar crucial para la evaluación de riesgos volcánicos.

En este trabajo el problema físico que planteamos es el desarrollo de un modelo matemático para estudiar la interacción entre el magma localizado en un reservorio magmático y la roca encajante. Hasta ahora hemos implementado numéricamente, mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), la parte sólida del modelo mientras que la modelización de la dinámica de fluidos en reservorios magmáticos y/o depósitos hidrotermales se encuentra actualmente en desarrollo.

La utilización del FEM permite considerar distintas características estructurales y morfológicas del medio así como densidades y parámetros heterogéneos. Finalmente, la simulación de deformaciones y variaciones de gravedad en Tenerife (Islas Canarias) considerando diferentes hipótesis sobre el medio, nos permite concluir que las predicciones de un modelo pueden describir de forma muy precisa cualquier conjunto de datos observacionales. Sin embargo, la exactitud de estas predicciones va a depender de las hipótesis realizadas acerca del medio.

Segmentación y clasificación en la toma de decisiones

J. Montero^{1,2}, J.A. Ardizzone², C. Franco², J.M. García-Santesmases², L. Garmendia³, D. Gómez⁴, R. González del Campo³, V. López³, S. Muñoz², T. Ortuño², E. Roanes⁵, J.T. Rodríguez², K. Rojas², G. Tirado², B. Vitoriano², J. Yáñez² y E. Zarrazola²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Matemáticas. Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, España. Javier.Montero@mat.ucm.es

²Dpto. Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Ciencias Matemáticas (UCM). Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, Facultad Informática (UCM), C/Prof. José García Santesmases s/n, 28040 Madrid, España.

⁴Dpto. Estadística e Investigación Operativa I, Escuela Estadística (UCM). Avda. Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid, España.

⁵Dpto. Álgebra, Facultad de Educación (UCM). C/Rector Royo Villanova s/n, 28040 Madrid, España.

En esta comunicación se pretenden presentar brevemente las principales líneas de trabajo del grupo de investigación de la Universidad Complutense sobre Sistemas de Ayuda a la Decisión, proyecto desarrollado en colaboración con otras Universidades de Madrid, Bélgica, Italia y la República de Eslovaquia. Este proyecto se estructura en cuatro objetivos básicos, considerando en primer lugar el diseño de modelos de observación con diferentes tipos de incertidumbre, tanto la relativa a problemas de imprecisión en la medida como la relativa a la transmisión de la información, a veces de carácter más bien lingüístico. En segundo lugar se abordan técnicas de análisis simbólico con el objetivo de desarrollar representaciones de la información más inteligibles para el usuario menos técnico. Se consideran además diferentes modelos para poder garantizar la consistencia de la compactación de dicha información, así como la superación de sus aparentes contradicciones y otras potenciales deficiencias. La problemática del descubrimiento y de la extracción de la información también forma parte de este tercer objetivo. En cuarto lugar, nos planteamos el desarrollo de algoritmos específicos. A partir de estos parámetros básicos se persigue construir sistemas de ayuda a la decisión que conjunten nuestra experiencia en técnicas de análisis de imágenes de la superficie de La Tierra obtenidas vía teledetección y en técnicas de tratamiento de información difusa sobre desastres naturales, para llegar a ponerlos al servicio de diferentes organismos que precisan de la toma rápida y fiable de decisiones a pesar de disponer en unos primeros instantes de una información evidentemente pobre, como lo son las bases de datos que describen el riesgo de cada zona habitada.

Referencias

- Gómez, D., Biging, G., Montero, J. (2008) Accuracy statistics for judging soft classification. *Int. J. Remote Sensing* 29, 639-709.
- López, V., Garmendia, L., Montero, J., Resconi, G. (2008) Specification and computing states in fuzzy algorithms. *Uncertainty, Fuzziness and KBS* 16, 301-336.
- Roanes-Lozano, E., Hernando, A., Laita, L.M., Roanes-Macias, E. (2009) A Groebner bases-based approach to backward reasoning in rule based expert systems. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 56, 297-311.
- Rodríguez, J.T., Vitoriano, B., Montero, J., Kecman, V. (2011) A disaster-severity assessment DSS comparative analysis. *OR Spectrum* 33, 451-479.
- Vitoriano, B., Ortuño, T., Tirado, G., Montero, J. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *J. Global Optimization* (en prensa).

UNIDADES TÉCNICAS

La Biblioteca del Instituto de Geociencias

L. Donadeo Navalón¹

¹*Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. laura.donadeo@csic.es*

La Biblioteca del Instituto de Geociencias nace como fusión de las del Instituto de Astronomía y Geodesia (IAG) y del Instituto de Geología Económica (IGE). Es una biblioteca pública de investigación, integrada en la Red de Bibliotecas del CSIC. Los servicios implementados por la biblioteca son: Información, orientación y referencia, Acceso a Recursos de Información electrónica del CSIC (Biblioteca Virtual del CSIC, Catálogos en línea, Bases de Datos, Digital.CSIC, Acceso remoto a recursos electrónicos), Servicios de Acceso al Documento (Revistas y Libros electrónicos del CSIC, Colecciones específicas de la Biblioteca, Préstamo personal, Reproducción de documentos, Préstamo Interbibliotecario y Acceso al documento externo), Formación de usuarios y Servicio de Archivo delegado en Digital.CSIC.

Podrán ser usuarios de la biblioteca todos los científicos e investigadores de organismos públicos y privados, los doctores y aquellos licenciados y estudiantes de los últimos cursos de licenciatura que acrediten su condición. Existen diferentes tipos de carnés para cada necesidad de información (Personal del IGEO, Usuarios temporales, Usuarios externos, Depósito individual y Depósito departamental).

El patrimonio bibliográfico que poseen las bibliotecas de la Red es de alrededor de 1.500.000 monografías y unas 70.000 colecciones de revistas, además de otro tipo de materiales como mapas, fotografías, manuscritos, etc. Este patrimonio ha generado uno de los mayores catálogos colectivos automatizados del país, denominado CIRBIC. Los fondos bibliográficos del IGEO están relacionados con la actividad científica y docente del Instituto y se centran en los siguientes temas: Paleontología (vertebrados e invertebrados), Petrología (exógena y endógena), Mapas Geológicos, Estratigrafía y Geología Histórica, Geología de España, Análisis de Cuencas y Sedimentología, Cartografía y Teledetección, Hidrogeología, Desarrollo de software para aplicaciones en Geodesia, Mareas terrestres, Modelos teóricos, Rotación de la Tierra, Geodesia aplicada a los peligros geológicos y antropogénicos, Gravimetría, Microgravedad y el problema gravimétrico inverso, Altimetría por satélite, Geodesia espacial (incluyendo GPS, InSAR y métodos ópticos).

En la actualidad, la colección digital de revistas del CSIC está formada por más de 8.000 títulos contratados por suscripción y más de 4.000 de acceso libre en Internet. Además, hay acceso al texto completo de unos 190.000 libros, para todos los centros del CSIC. La Biblioteca Virtual provee el acceso integrado a estos y otros recursos de interés, como bases de datos, buscadores científicos, etc. Además, contamos con Digital.CSIC, un repositorio de documentos digitales, cuyo objetivo es organizar, archivar, preservar y difundir en modo de acceso abierto la producción intelectual resultante de la actividad investigadora del CSIC.

Los contenidos depositados en Digital.CSIC aumentan su presencia en Internet, mediante la indexación por parte de un número creciente de motores de búsquedas, agregadores científicos y recolectores de contenidos en abierto. El número de registros depositados en el repositorio es de 35.183 (septiembre de 2011), con más de seis millones de descargas.

Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelado Análogo. Sección de Petrofísica

M. Álvarez de Buergo¹, D. Freire¹ y B. Gallardo¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. dafreire@geo.ucm.es

El Laboratorio de Petrofísica del Instituto Geociencias (CSIC-UCM) tiene más de 15 años de experiencia en el estudio y caracterización de las propiedades físicas y el comportamiento de geomateriales frente a los distintos procesos de deterioro, así como en la evaluación de métodos de conservación en el patrimonio construido. Con un sistema de Gestión de la Calidad bajo la Norma UNE-EN-ISO 9001:2008, ha ido ampliando el número de ensayos certificados por AENOR, contando en el 2011 con los siguientes: absorción de agua a presión atmosférica y absorción de agua al vacío (saturación), densidad real y aparente, porosidad abierta y total, rugosidad superficial, porosimetría por intrusión de mercurio, permeabilidad al vapor de agua, análisis petrográfico y mineralógico, determinación de aniones y cationes por cromatografía iónica, velocidad de propagación de ultrasonidos, medida del color mediante espectrofotómetro y ángulo de contacto.

Está integrado en la Red de Laboratorios de la Comunidad de Madrid (RedLab nº 217) con reconocimiento externo, y lleva a cabo ensayos de intercomparación con otros laboratorios. Realiza servicios analíticos y ofrece asistencia técnica a todo tipo de organismos, tanto públicos como privados, a nivel nacional e internacional. También proporciona apoyo científico-técnico y analítico en proyectos de I+D+i desarrollados por empresas, centros tecnológicos y organismos públicos de investigación en sectores como construcción, restauración, arqueología, ingeniería geológica, ciencia de los materiales, conservación del patrimonio, almacenamiento de CO₂, recursos minerales, hidrocarburos, paleoclimatología, geología ambiental, hidrogeología, edafología, geoforensia, etc.

Dispone de los siguientes equipos e instrumental: analizador dinámico y estático del ángulo de contacto, brillómetro, cámara de infrarrojos, cámara de vacío para ensayos en rocas, cromatógrafo, Drilling Resistance Measuring System, equipos de medida de la velocidad de propagación de ultrasonidos, esclerómetro, espectrofotómetro, fotoradiómetro, magnetómetro, medidor de adherencia, medidor de humedad, microdurómetro, microscopio petrográfico, osciloscopio, phímetro, pipetas Karsten, porosímetro por intrusión de Hg, rugosímetro óptico, sistema Acuasor para la determinación de las propiedades hídricas, sonda de humedad, termómetro de infrarrojos y testigueros para la extracción de muestras. Cuanta además con una plantilla de personal especializado: directora técnica, responsable de calidad y técnicos de laboratorio, que garantizan un control desde el momento en que las muestras llegan al laboratorio antes, durante y después de su análisis.

Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelado Análogo. Sección de Microscopía y Mineralogía

A. la Iglesia¹ e I. Serrano¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. ivanserrano@geo.ucm.es

La Sección de Microscopía y Mineralogía se crea a partir del *Laboratorio de Difracción de RX de la UT de Petrología y Geoquímica Ígnea, Metamórfica y Sedimentaria del Instituto de Geología Económica*.

En la actualidad se dispone de un equipo de difracción Phillips PW1081 modificado (θ - 2θ), provisto de monocromador de grafito, radiación $K\alpha_1=1,5406 \text{ \AA}$. Tamaño de paso: $0,01^\circ$ - $0,5^\circ$. Time: 0,25-4s.

La salida de datos es analógica, y mediante un convertidor analógico/digital de National Instrument y un software propio se obtienen los resultados informáticos en formato RAW (Bruker), UDF (Phillips) e imagen vectorial.

Posibilidades de la técnica:

- DRX método de polvo:
 - Estudios de caracterización de fases.
 - Análisis cuantitativos, método Chung.
 - Cuantificación de fases amorfas.
 - Refinamiento de parámetros cristalográficos con programa CHEKCELL.
 - Análisis de micromuestras con gran resolución y muy poco fondo.
- DRX método del Agregado Orientado:
 - Caracterización de arcillas e interestratificados.
 - Análisis cuantitativos, método de poderes reflectantes.
 - Estudios de interestratificados con los programas MUCALC y NEUMOD.

Unidad Técnica de Geodesia, Geofísica y Magnetismo de Rocas. Laboratorio del Grupo de Paleomagnetismo, Magnetismo de Rocas y Modelado Geomagnético

M.L. Osete^{1,2}, G. McIntosh^{1,2}, V.C. Ruíz-Martínez^{1,2}, F. Martín-Hernández^{1,2}, F.J. Pavón-Carrasco^{1,2}, M. Gómez-Paccard³, V. Villasante-Marcos⁴, G. Catanzariti² y S. Guerrero-Suarez²

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Físicas. Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España. fjpavon@fis.ucm.es

²Dpto. Física de la Tierra I, Astronomía y Astrofísica I: Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas (UCM). Plaza de Ciencias 1, 28040 Madrid, España.

³Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC). C/Lluís Sole i Sabarís s/n, 08028 Barcelona, España.

⁴Observatorio Geofísico Central. Área de Volcanología. Instituto Geográfico Nacional (IGN). C/Alfonso XII 3, 28014 Madrid, España.

El grupo de investigación de Paleomagnetismo de la UCM es un grupo consolidado que empieza su actividad como grupo en el año 1989 cuando, mediante un proyecto de infraestructura y con el apoyo del Institut für Geophysik del Instituto Politécnico de Zürich, se crea el “Laboratorio de Paleomagnetismo” de la UCM. El grupo está formado por investigadores que provienen de diferentes áreas de conocimiento (Física, Geofísica y Geología), que se agruparon con el fin de desarrollar las principales aplicaciones de la técnica del paleomagnetismo: el estudio del comportamiento del campo magnético terrestre en el pasado, la investigación de la deriva continental, la datación de yacimientos geológicos y arqueológicos y el estudio de la deformación rotacional de bloques sub-corticales.

Como unidad técnica del IGEO, el laboratorio de Paleomagnetismo cuenta con material e instrumental de muestreo paleomagnético y arqueomagnético (taladradoras, brújulas e inclinómetros, cortadoras, material de preparación de muestras,...). Con una red de instrumentos para analizar el magnetismo remanente en rocas (magnetómetros tipo spinner JR5; desimanadores, térmico y por campos alternos decrecientes,...), así como aparatos de medidas de las propiedades magnéticas de las rocas (puente de susceptibilidad, “Coercivity-Spectrometer”).

Unidad Técnica de Preparación de Muestras

R. Pozuelo¹, J. Carmona¹ y E. Navarro¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. ropozuel@pas.ucm.es

La Unidad Técnica de Preparación de Muestras se constituye como un laboratorio que da cobertura actualmente a las diversas necesidades analíticas que plantean investigadores del IGEO (CSIC-UCM), de la Universidad Complutense y de diversos centros del CSIC. Dispone de metodologías analíticas propias, aplicables a cualquier tipo de materiales de naturaleza geológica, que permiten la realización de los análisis geoquímicos y mineralógicos solicitados.

Las técnicas más comúnmente realizadas son la Preparación de Muestras para Difracción de RX (determinación cualitativa y cuantitativa de la composición mineralógica de suelos, sedimentos y rocas, prestando especial atención a la fracción arcilla), Análisis de Polen y Fitólitos (con el fin de conocer las condiciones ambientales en épocas pasadas), Calcimetrías (para la determinación de carbonatos), Extracción de Conodontos y Granulometrías. Otras técnicas llevadas a cabo son la Preparación de Levigados, Agregados Orientados y Separación de Minerales Pesados.

El laboratorio cuenta con equipos avanzados para la realización de un amplio rango de análisis, tales como Calcímetro, Tamizadora electromagnética, Molino de mortero, Balanza analítica, Balanza de sedimentación, Placa calefactora digital, Microtaladradora, Machacadora de mandíbulas y Microscopios ópticos.

Actualmente, se dispone de un Analizador de Carbono CM150 en proceso de puesta a punto (la cual está pendiente de financiación), que es capaz de medir Carbono Total, Carbono Orgánico Total y Carbono Inorgánico, combinando un Horno de combustión, Módulo de Acidificación y un Detector Colorimétrico.

Unidad Técnica de Cálculo Científico y Procesado de Datos

J.L. González Pachón¹ y V. López Martín¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. valle.lopez@ige.csic.es

La Unidad Técnica de Cálculo Científico y Procesado de Datos cubre dos aspectos diferentes, fotografía digital, y proyectos SIG y Teledetección.

Entre las tareas que lleva a cabo el área de fotografía digital se encuentran: realización de capturas fotográficas mediante diversos métodos digitales; digitalización de imágenes, muestras pulidas, planos, diapositivas y demás soportes ya existentes; formación o actualización de archivos fotográficos; procesado y retoque para adecuación de las capturas fotográficas.

Con las imágenes obtenidas se realiza la correspondiente aplicación para las diferentes necesidades de investigación, divulgación científica, y archivo y registro digital de muestras geológicas.

El área de SIG y Teledetección gestiona una Base de Datos Georeferenciados con la que se generan desde modelos digitales del terreno hasta mapas temáticos, adaptados a las necesidades de cada una de los diferentes grupos de investigación presentes en el IGEO.

Por otra parte, también se desarrollan proyectos encaminados a la implementación SIG específica para cada grupo, y al análisis de datos espaciales adaptados a una investigación concreta. El desarrollo del proyecto SIG y Teledetección se lleva a cabo mediante la adquisición e integración de datos de distintas fuentes, el procesado y análisis de los mismos, y finaliza con la producción cartográfica.



Unidad Técnica de Geocronología e Isótopos Estables. Sección de Dataciones Absolutas por Técnicas de Luminiscencia

R. Fort¹, V. Correcher² y A. Medialdea³

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. rafort@geo.ucm.es

²Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid, España.

³Dpto. Geología. Museo Nacional Ciencias Naturales (MNCN-CSIC). C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

Uno de los servicios analíticos de investigación que se implantará en el IGEO es el de dataciones absolutas por termoluminiscencia (TL) y luminiscencia ópticamente estimulada (OSL). Los objetivos de esta Sección consisten en dar servicio no solo a las investigaciones que se desarrollan dentro del Instituto de Geociencias, sino que también es un servicio exterior para la datación de sedimentos y rocas, así como de elementos de interés pertenecientes al patrimonio paleontológico y cultural, dentro del período entre 100 y 800.000 años. Pero esta sección puede también llevar a cabo tareas de investigación en el campo de caracterización de materiales y de sus propiedades luminiscentes, así como su aplicación detección de especias irradiadas, etc. El equipamiento ha sido concedido a través del Programa INNOCAMPUS-Convocatoria 2010 del Ministerio de Ciencia e innovación ante la propuesta de la UCM, dentro del Campus de Excelencia Internacional-Moncloa. La infraestructura está constituida por dos equipos de última generación que permite medidas TL y OSL que cuentan cada uno con una fuente beta de ⁹⁰Sr/. El sistema permite realizar las medidas en vacío y en atmósfera de nitrógeno, al tiempo que un sistema de calentamiento individual para cada alícuota que alcanza temperaturas de hasta 700°C con tasas de calentamiento desde 0,5 hasta 20°C por segundo. Los equipos tienen un sistema formado por una fuente de iluminación de luz continua (CW) o linealmente modulada (LM-OSL) además de estimulación óptica pulsada de luz Azul (emite a 470 nm con una potencia sobre la muestra superior a 50 mW/cm²) e IR (emite a 870 nm con una potencia superior a 145 mW/cm²).

Uno de los equipos dispondrá de un accesorio para granos individuales (tamaño 180-250 µm) y estará compuesto por un láser verde estabilizado de 532 nm y 10 mW. La luz de estimulación puede ser controlada para hacer medidas de LM-OSL sobre una superficie de 20 µm en cada grano, pudiendo realizar las medidas simultáneamente sobre 100 granos. El laboratorio contará con la infraestructura necesaria para la preparación de las muestras con la instalación (cortadora, tamizadora, centrifugadora, balanza de precisión, etc.)

Esta sección de dataciones se integra en la Unidad Técnica de Geocronología e isótopos estables del IGEO pertenece también a la actuación DACIPA (Dataciones en el Ámbito de Ciencias del Patrimonio) del CEI-Moncloa. El laboratorio hasta que el Instituto tenga una ubicación estable se instalará provisionalmente en el CIEMAT que es miembro agregado al CEI-Moncloa.

Agradecimientos

Al CEI-Moncloa y al Programa INNOCAMPUS-2010 por la financiación de los equipos.

Unidad Técnica de Geocronología e Isótopos Estables. Sección de Isótopos Estables

J. Martín-Chivelet^{1,2}, M.I. Benito^{1,2}, M.B. Muñoz-García^{1,2}, K.C. Lohmann³, J. Carmona¹ y R. Pozuelo¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Geológicas. C/ José Antonio Nováis, 2, 28040 Madrid, España. isotopoestables@geo.ucm.es

²Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). C/ José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España.

³Stable Isotope Laboratory, University of Michigan. MI 48109, USA.

El Laboratorio de Isótopos Estables SILAB es una instalación analítica actualmente en proceso de desarrollo, destinada a la medida de relaciones isotópicas de Carbono, Oxígeno e Hidrógeno (ampliable a otros elementos en el futuro) sobre aguas, carbonatos, y otros minerales (y compuestos orgánicos en el futuro), y cuyo objetivo fundamental es la obtención de indicadores paleoambientales y paleoclimáticos (proxies) de alta resolución a partir de sedimentos, fósiles, rocas, restos orgánicos...

El laboratorio incluye diferentes técnicas ya disponibles y que se vienen utilizando en la UCM y el CSIC, fundamentalmente enfocadas al estudio, extracción y preparación de muestras, y en la actualidad está en proceso de adquisición un espectrómetro de relaciones isotópicas para elementos ligeros. Este espectrómetro cuenta con colector para D/H y amplificador para muestras de pequeña abundancia isotópica, así como con un sistema acoplado de doble entrada ("dual inlet") para muestras de carbonatos y aguas, incluyendo sistema automático de extracción y preparación de muestras (generación de gases).

El objetivo de este equipo es proporcionar datos de la composición isotópica de diferentes tipos de muestras buscando una resolución muy elevada con tamaños de muestra muy pequeños (inferiores a 20 microgramos). Las disciplinas científicas de aplicación son variadas. Entre ellas se podría destacar: Cambio climático y ambiental; paleoclimatología; recursos geológicos; análisis de cuencas sedimentarias, patrimonio histórico y gearqueología; hidrogeología, hidrología y paleohidrología; geología y geoquímica ambiental; ecología y paleoecología; oceanografía y paleoceanografía, agricultura y alimentación, etc.

El desarrollo del laboratorio está siendo posible gracias a la cofinanciación de la UCM y el CSIC a través de diferentes convocatorias de dotación de infraestructuras, algunas de ellas pendientes de resolución. Una parte importante del equipamiento inicial ha sido concedida por el MICINN a través del Programa INNOCAMPUS- Convocatoria 2010. La solicitud fue realizada por la UCM para la implementación del Laboratorio de Cambio Climático de Moncloa.

Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote: Laboratorio Natural de Investigación

E. Vélez¹

¹Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Matemáticas. Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, España. emilio.velez@csic.es / emilio_velez@mat.ucm.es

El Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote (LGL) es un laboratorio multidisciplinar de investigación en técnicas y métodos geodésicos y geodinámicos proyectado a partir de las líneas de investigación del grupo de Geodesia, Gravimetría y Mareas del Instituto de Astronomía y Geodesia (CSIC-UCM) que, desde hace más de 20 años, se ha venido desarrollando en colaboración con el Cabildo de Lanzarote, Universidades y otros organismos nacionales e internacionales de investigación en el marco de los proyectos realizados.

La isla de Lanzarote es un lugar de especial interés geodinámico por su origen volcánico y su situación geográfica, y está declarada Reserva Mundial de la Biosfera por la UNESCO. Todo ello dota a la isla de un interés añadido como *Laboratorio Natural* de investigación. Los Laboratorios Naturales son áreas geográficas utilizadas de forma global para el estudio y la investigación a través de la realización de observaciones en campo que aportan información real del suceso, su estado, desarrollo y posible evolución. En este marco conceptual, el LGL reúne todas las condiciones para ser un Laboratorio Natural de Investigación en relación con la observación y evaluación de fenómenos previsiblemente relacionados con los cambios que se debieran producir en los océanos, la atmósfera y la corteza de nuestro planeta, tanto de origen natural como antropogénico.

El LGL está extendido a toda la isla, contando con tres módulos de observación permanente, ubicados en diversas dependencias del Cabildo de Lanzarote de acuerdo con la infraestructura y los objetivos de investigación. En ellos, más de 70 sensores, entre gravímetros, clinómetros, extensómetros, GPS, mareógrafos, sismómetros, estaciones meteorológicas, etc., registran, de forma continua, la respuesta en superficie de la actividad geodinámica de la zona frente a la acción de fuerzas internas y externas a la Tierra. Estos módulos se complementan con diferentes redes geodésicas a escala local, insular y regional, que son medidas de forma periódica.

Las mareas terrestres y oceánicas, la gravimetría y microgravimetría, el estudio de las variaciones del nivel del mar, los estudios de deformaciones, el efecto de carga oceánica, el desarrollo de instrumentación son, entre otras, líneas de investigación desarrolladas a partir de la actividad del Laboratorio.

El LGL es una instalación científico-técnica única dentro del campo de las Ciencias de la Tierra a nivel internacional. Cuenta con una importante infraestructura técnica, con instrumentación e instalaciones adecuadas, y largas series de observación. El Grupo de Investigación responsable tiene una amplia y relevante experiencia investigadora, avalada por 16 proyectos de investigación y más de 200 artículos, ponencias en congresos, tesis, informes, etc., realizados.

Agradecimientos

Se agradece la financiación recibida mediante los proyectos CGL2007-65110 (MEC), el proyecto INTERREG IIIB de la Unión Europea y el Grupo de Investigación GR35-10A de la Comunidad Autónoma de Madrid.

Instalaciones Geodinámicas en el Valle de los Caídos

J.L. Valbuena Durán¹ y A. Alcázar Sánchez¹

¹*Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Sede Facultad de Ciencias Matemáticas. Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, España. elvalbu@lag.csic.es*

En el Valle de los Caídos, en Madrid, el llamado **Laboratorio de Geodinámica Externa** consta de tres instalaciones científicas para aplicaciones gravimétricas: laboratorio de mareas terrestres, laboratorio de gravedad absoluta y línea de calibración de gravímetros. Su utilización es nacional e internacional. Su ubicación es ideal porque, geológicamente, no hay variaciones estacionales de la gravedad, no sufre microsismicidad inducida artificial y están en terrenos del Patrimonio Nacional, disponiendo de vigilancia y asistencia.

El **Laboratorio de Mareas Terrestres** es subterráneo y está en la Basílica. Consta de dos salas con entradas en el suelo, tapadas con una losa amovible. La derecha es la de mareas clinométricas (péndulos Melchior) y la izquierda la de mareas gravimétricas (gravímetro ASKANIA modificado). Uniendo ambas hay un clinómetro hidráulico "water tube" de larga base instalado en colaboración con la Universidad china de Wuhan. Está en servicio desde 1975, y se ha registrado un ciclo completo de marea (casi 20 años), lo que permite su modelación analítica con máxima precisión.

El **Laboratorio de Gravedad Absoluta** está instalado en un chalé aislado, cercano al Poblado. En este laboratorio, desde su acondicionamiento en 1992, se han hecho numerosas observaciones, por científicos finlandeses, alemanes, chinos etc.; el Instituto Geográfico Nacional español también ha realizado medidas con los dos gravímetros absolutos que utiliza.

La **Línea de Calibración de Gravímetros** posee 12 señales desde la entrada al Valle de los Caídos hasta la base de la Cruz. La línea tiene su origen en el laboratorio de gravimetría de los sótanos de la Facultad de Matemáticas. Tiene 800 m de desnivel y ha sido nivelada con nivelación de alta precisión, uniéndose a la red de nivelación oficial española. La han recorrido por más de 30 gravímetros de relativa. En el ámbito nacional es utilizado por la Escuela de Topografía, el IGN, el Servicio Geográfico del Ejército y otros. Internacionalmente se utiliza cuando investigadores de extranjeros hacen trabajos gravimétricos en España

Referencias

- Torroja, J.M., Vieira, R., Ortíz, R., Sevilla, M.J. (1975) Estudio de mareas terrestres en España. Publicaciones del IAG, Facultad de CC Matemáticas, UCM, nº 85.
- Vieira, R., de Toro, C., Camacho, A.G. (1988) Investigaciones en mareas. Publicaciones del IAG, Facultad de CC Matemáticas, UCM, nº 166.
- R. Vieira, J. Makinen, A. G. Camacho Y M. J. Sevilla (1991) Observaciones absolutas de la gravedad en España. 181.

PRINCIPALES PROYECTOS FINANCIADORES

Sublínea Estructura, Modelado y Dinámica de la Tierra Sólida

Estudio sismotectónico del centro peninsular (GR35/10-A). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Estructura y geodinámica del borde NE de la placa Caribe: microplaca de Puerto Rico, GEOPRICO (REN2003-08520-C02-01/MAR9). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Geodinámica del Norte de la placa caribe: sector República Dominicana-Haiti (CGL-2010-17715). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Caracterización de las estructuras neotectónicas (Mioceno Superior - Actualidad) del Borde Sur del Sistema Central (frontera entre España y Portugal) (HP2008-0068). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Acción Complementaria para fondeo y recuperación de OBSS, en el Proyecto REN2003-08520-C02-01/Mar (CTM2004-20040-E/MAR). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Evaluación del potencial geotérmico de la Comunidad de Madrid mediante la integración de datos geológicos, geofísicos y modelos termomecánicos (GR58/08). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Análisis de las relaciones entre parámetros geofísicos, geoquímicos y estructurales para la definición de zonas conductoras en medios hidrogeológicos heterogéneos (PR41/06-14940). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

TOPO-IBERIA Foreland Modelacion Análoga (UCM-VU) (CGL2006-13926-C02-01 y CGL2006-13926-C02-02). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

TOPO-IBERIA Consolider Ingenio 2006 (CSD2006-00041). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Desarrollo de nuevas metodologías y aplicaciones en la modelización de la dinámica litosférica: localización de la deformación y evolución 3D (CGL2009-13103). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sublínea Geodesia Espacial, Campos Potenciales y Geomatemáticas

Aplicación de la interferometría radar de satélite y los sistemas globales de navegación por satélites en estudios sobre el control de deformaciones de la cordillera Bética (AYA2010-15501, subprograma ESP). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Caracterización del peligro sísmico y tsunamigénico asociado con la estructura cortical del contacto Placa de Rivera - Bloque de Jalisco (Refracción / Sismicidad) (CGL2011-29474-C02-01). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Construcción de sistemas de ayuda a la decisión con incertidumbre lingüística (DGI, TIN2009-07901). Promoción General del Conocimiento.

Desarrollo de la técnica paleomagnética aplicada a la geodinámica de Túnez (A/016834/08). Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación (MAEC).

Desarrollo de nuevas técnicas de control de deslizamientos mediante la integración de de observaciones terrestres y espaciales (EOSLIDE) (IPT-2011-1234-310000). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Determinación de intensidad geomagnética absoluta sobre las cerámicas precolombinas del occidente de México (PAPIIT IN113009). Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Autónoma de México (DGAPA-UNAM).

El Lidar y los problemas geodésicos asociados. Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Estudio de la Variación Secular durante el pasado arqueológico - Grupo Paleomagnetismo. Comunidad Autónoma de Madrid (CAM) y Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Estudio de las remagnetizaciones en las Cuencas Mesozoicas Ibéricas y Vasco-Cantábricas. Paleomagnetismo, Magnetismo de las rocas e implicaciones tectónicas (CGL2006-02514/BTE). Ministerio de Ciencia y Tecnología (MEC).

Estudio y modelado de la variación secular del campo geomagnético en europa y norte de áfrica durante los últimos 10000 años. Desarrollo de aplicaciones (CGL2008-02203/BTE). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Estudio paleomagnético y de paleointensidad de transiciones de la polaridad geomagnética registradas en secuencias de coladas volcánicas (BU004A09).

Estudio paleomagnético y de paleointensidad de transiciones de la Título del proyecto: Paleomagnetismo de las cuencas mesozoicas invertidas del Atlas Marroquí. Remagnetizaciones e implicaciones tectónicas. (CGL2009-10840/ BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MEC).

European Plate Observing System - EPOS. (Grant agreement no: 262229). UE VII Framework Programm, ESFRI.

Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D. TOPO-IBERIA (CSD2006-00041). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

GEODESIA GR35/10-A (910505). Comunidad de Madrid (CAM) y Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Modelización Matemática en Ciencias de la Tierra y del Espacio GR35/10-A (921095). Comunidad de Madrid (CAM) y Universidad Complutense de Madrid (UCM).

High-field anisotropy of hematite and goethite. EU-EUROMAGNET II.

Integration between SAR interferometry and ground-based geodetic data on Mt. Etna Using Radarsat-2 Data (SOAR-E N°: 5087). Canadian Space Agency (CSA).

Integration between SAR interferometry and ground-based geodetic data on Mt. Etna Supersite using Terrasar-X data. Agencia Espacial Alemana (DLR).

La variación secular del campo geomagnético en Eurasia y norte de África a partir de datos arqueomagnéticos. Últimos 8000 años (CGI2011-24790). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Modelización geodésica y geofísica avanzada en Gran Canaria. Integración en el contexto estructural y dinámico de Canarias (CGL2011-25494). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Moncloa Campus of International Excellence (CEI-Moncloa). Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

New insights into volcanic processes using experimental bistatic high sampling rate TDX-SAR data. Agencia Espacial Alemana (DLR).

Nuevas metodologías para la integración e interpretación de datos de observación de la Tierra desde el Espacio: Aplicaciones en Ciencias de la Tierra e Ingeniería. (AYA2010-17448, subprograma ESP). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Participación científica en la misión a Marte "Meiga-Metnet Precursor" (AYA2011-29967-C05-02). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Red Temática Española de Elección Social (REES) (Acc.Esp. ECO2010-09449-E). Plan Nacional I+D+I, Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sala Apantallada Magnéticamente (UCMA05-33-036). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Sistemas de Ayuda a la Decisión con Preferencias Difusas Convocatoria (GR35/10-A). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Estudio, Evaluación y Modelización de fenómenos perturbadores sobre los observables geodésicos. Aplicación en el LGL a la determinación del nivel del mar en relación con el Cambio Climático (CGL2007-65110). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

INTERREG IIIB - Volcanismo de la Macaronesia (03/MAC/2.3/A4). Unión Europea.

Caracterización estructural del Parque Nacional de Timanfaya mediante uso combinado de técnicas y métodos geodésicos y geofísicos (320/2011). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).

Sublínea Geoquímica y Evolución Tectonomagmática de la Tierra

La orogenesis Grenville, el desmembramiento de Rodinia y las acrecciones paleozoicas, en el margen proto-andino de Gondwana en las Sierras pPampeanas occidentales, Argentina (CGL2005-02065/BTE). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Los terrenos mesoproterozoicos Grenvillianos del Antepais Andino, entre el bloque las Matras y La Puna (26° a 36° I.s., Argentina): implicaciones geocronológicas e isotópicas, y significado de las reactivaciones durante las orogénesis del Paleozoico Inferior (CGL2009-07984/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sistemática isotópica de Hf y/o en circones de las Sierras Pampeanas: origen y evolución de la corteza continental en el margen de Gondwana (PIP N° 01940). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET, Argentina).

Magmatismo granítico del Paleozoico Superior en el margen proto-andino de Gondwana entre los 27° y 33° de latitud Sur: petrogénesis, geocronología, condiciones de emplazamiento y evolución cortical. Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

De Rodinia a Pangea: 1100 Ma de historia geológica en el basamento del NW de Iberia. (Proyecto CONSOLIDER CGL2007-65338-CO2-01/BTE). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Amalgamation and Breakup of Pangæa: the type example of the supercontinent cycle (IGCP 597). UNESCO International Geoscience Programme.

Geocronología U-Pb del magmatismo Varisco en el centro de España (CGL2008-05952-CO2-01). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

El batolito peraluminico de los Montes de Toledo y las mineralizaciones de metales raros ligadas a cúpulas graníticas félsicas (CGL2011-23560). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Magmatismo y mineralizaciones en la zona Centro-Ibérica Hercínica (GR35/10A-910492). Universidad Complutense de Madrid (UCM).

El volcanismo monogenético del Campo Volcánico de Michoacán-Guanajuato (Cinturón Volcánico Mexicano): Petrogénesis e implicaciones geodinámicas (CGL2008-02638/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Origen, evolución y distribución del volcanismo adakítico y asociado en el Campo Volcánico de Michoacán-Guanajuato, México (CGL2011-23422). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sublínea Terremotos y Volcanes

Reunión del Grupo de Trabajo Ibero-Magrebí (AE-F1/10-17232). Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Sistema de Alerta Sísmica Temprana: Aplicación al Sur de España (ALERT-ES) (CGL 2010-19803-CO3-01). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sismicidad, Sismotectónica y Riesgo Sísmico (910399, GR35/10-A). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Investigación Volcanológica en Tenerife (VOLRESTE, CGL2008-03874). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Implementación de metodología desarrollada en España en el sistema de vigilancia volcánica de Nicaragua (ACI-PROMOCIONA-2008-0778).

CRODINAS—CROss-Disciplinary knowledge transfer for improved Natural hazard ASsessment. Marie Curie Actions - (IRSES) 230826.

Peligro Volcánico y Evaluación del Riesgo en Tenerife (PEVERTE): Nuevas perspectivas en la identificación de los patrones de precursores de erupciones volcánicas y su integración en las herramientas para la gestión del riesgo volcánico)CGL2011-28682-C02-01). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Identification of site effects on seismic intensity records in Iberia (CGL2010-11831). MICINN- Spanish National Programme R+D+i.

Expert Group 'Revision of the Seismic Hazard Map of Spain for the Spanish Building Code', IGN - Ministry of Public Works.

Maps of recorded Maximum Seismic Intensity in Iberia from 1300 to 2009 and site effects. Implications for seismic hazard and risk assessment in Iberia. Joint Projects CSIC-FCT (Portugal).

Mitigation of Seismic Risk through Integrated Scenarios of Crustal Deformation, Earthquake Hazard, Earthquake Damage and Losses, and Real Time Ground-Shaking Effects at Regional and Urban Scales (MARSH) CGL2007-62454/BTE. MEC - Spanish National Programme R+D+i.

Methodology and cost-effective application of site effect evaluation for developing realistic seismic hazard scenarios (HA2006-0040). MEC - Integrated Actions Spain-Germany.

Sublínea Análisis de Cuencas, Paleoambiente y Paleogeografía Global

Diagénesis de carbonatos metaestables en ambientes superficiales meteóricos recientes. (CGL 2008-05584-C02-02). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Petrología aplicada al análisis de cuencas y a la conservación del Patrimonio Geológico (GR35/10-A-910404). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Asesoramiento científico en la gestión del monumento natural de la Cueva de Castañar de Ibor y de su entorno geológico. Sociedad Fomento de la Naturaleza y Medio Ambiente, (FONAMA).

Equipamiento y recreación virtual de la Cueva de Castañar de Ibor en el centro de Interpretación del Monumento Natural de la Cueva de Castañar de Ibor. CRN

Controles alocíclicos en el Cretácico de la Cuenca Ibérica: paleogeografía, paleoclima y modelización de almacenes (CGL2008-05418). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Paleogeografía de los intervalos con mayor profusión de huellas de dinosaurios en el registro sedimentario de la Cuenca de Cameros: Ambientes sedimentarios, ecología y clima (rift Ibérico Mesozoico) (CGL2008-01648BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Paleoclimatología y Cambio Global (910198). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Análisis de Cuencas Sedimentarias (910429). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Precámbrico y Paleozoico perigondwánico: estratigrafía y paleontología (910231). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Estudio paleobiogeográfico del Ediacárico y Cámbrico del Margen Perigondwánico: análisis sedimentológico, bioestratigráfico, biogeográfico y geoquímico de áreas de la Península Ibérica y SE de Australia (CGL2009-07073BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Influencia latitudinal en un periodo de Icehouse (Serpujoviense) sobre faunas y floras marinas someras de cuencas del Palaeotethys occidental (CGL2009-10340). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Eventos de crisis y recuperación del Pérmico Superior-Triásico: Cordilleras Ibérica E y Costero Catalana (CGL2008-00093BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Nuevos enfoques en la calibración de registros paleoclimáticos y la reconstrucción de la variabilidad climática en España (CGL2010-21499). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Estudio cicloestratigráfico de las sucesiones del Jurásico medio y superior del sector mendocino de la Cuenca Neuquina (UBACYT X-133). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Evolución de las Plataformas carbonáticas del sur de Mendoza y norte de Neuquén y sus facies arrecifales (PIP 5142). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Evolución paleoambiental y cicloestratigráfica de las plataformas carbonáticas y siliciclásticas (formaciones bardas Blancas, Calabozo, La Manga y Vaca Muerta) del Jurásico de Cuenca Neuquina, Mendoza (UBACYT.X-476). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Geodiversidad e Itinerarios Geológicos en el Parque Nacional de Cabañeros. (Ref. 052/2009, Red de Parques Nacionales). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM).

Modelización de la dinámica sedimentaria (Cretácico, Paleógeno y Mioceno terminal) y su relación con la tectónica en el Prebético oriental (CGL2005-06636-CO2-CO2/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sublínea Episodios Críticos en la Historia de la Tierra

Paleontología, Tafonomía y Geomorfología de los yacimientos pseudocársticos del Cerro de los Batallones (Mioceno superior, Cuenca de Madrid) (CGL-2008-05813-CO2-01). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Evolución de la biodiversidad en micromamíferos del Neógeno y las relaciones entre patrones morfométricos, ecológicos y ambientales (CGL-2008-04200/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

El calentamiento global y la diversidad de los mamíferos: un test del efecto del cambio climático a partir del registro fósil (CGL-2010-19116/BOS). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Estrategias de life history en primates: efectos de la dieta y la estacionalidad en los cambios morfológicos ontogenéticos y la eficiencia funcional en simios simpátricos y homínidos (CGL-2010-20868/BOS). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Estudio de Episodios Críticos del registro Geológico mediante Multi-indicadores de procesos Geobiológicos (CGL2009-09000/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Evolución de Mamíferos y Paleoambientes Continentales Cenozoicos (910607). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Registro Geológico de Periodos Críticos: Factores Paleoclimáticos y Paleoambientales (910161). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Procesos Bióticos Mesozoicos (910431). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Sublínea Paleoclimatología y Cambio Global

Floodwater Recharge of Alluvial Aquifers in Dryland Environments (WADE, nº. GOCE-CT-2003-506680-WADE). Unión Europea. VI Programa Marco.

Infiltración en lechos fluviales y recarga de acuíferos relacionadas con avenidas y paleocrecidas en ríos efímeros (PALEOREC, GL2005-01977/HID). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Riesgo de inundaciones en ríos Mediterráneos en respuesta a la variabilidad climática y cambios ambientales (FLOOD-MED). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Ciencias de la Tierra (CGL-BTE) y Recursos Hídricos (CGL-HID) (CGL2008-06474-C02-01/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Mejora de la eficiencia ecológica y económica de las restauraciones mineras mediante reconstrucciones geomorfológicas que favorecen el control hidrológico (CGL2010-2010-21754-C02-01). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Restauración y conservación de los ecosistemas madrileños. Respuesta ante el Cambio Global (REMEDINAL 2) (S2009AMB-1783). Comunidad de Madrid (CAM).

Caracterización de los procesos ecológicos en el entorno de las infraestructuras y evaluación de su potencial para la conservación de la biodiversidad, del paisaje y del patrimonio natural. Agrupación de Interés Económico (CLEAM CENIT, AIE). Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Contribución Española al Desarrollo del Convenio Mundial para Prevenir la Desertificación: I.- Red de cuencas y parcelas experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y la desertificación (RESEL) del Proyecto LUCDEME. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).

Redistribución mecánica del suelo por las prácticas de laboreo en Castilla-La Mancha. Efectos sobre la modificación del relieve y sobre la calidad del suelo, su degradación y productividad potencial (266/2007, 5282781). Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (CLM).

Dinámica del Equilibrio y la Variabilidad Interna Anular del Jet Extratropical (DEVIAJE CGL2009-06944). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Sublínea Deterioro y Conservación de Materiales Geológicos del Patrimonio

Tecnologías para la conservación y revalorización del Patrimonio Cultural (Proyecto Consolider Ingenio 2010) (CSD2007-0058). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

Durabilidad y conservación de geomateriales del patrimonio construido (GEOMATERIALES, S2009/MAT-1629). Comunidad de Madrid y Fondo Social Europeo.

Environmental conditions and preventive conservation at the World Heritage site of Petra, Jordania (A/025170/09 y A/032184/10). Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Alteración y conservación de materiales pétreos del patrimonio (921349). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Campus de Excelencia Internacional (CEI-Moncloa). Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Deterioro de los materiales pétreos en el interior de edificios históricos por efecto de la variación inducida de sus microclimas (CGL2010-19554). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Extensión de la utilización de un nuevo acero inoxidable bajo en níquel a hormigón fabricado con ceniza volante. Aplicación de sensores e inhibidores de corrosión (BIA2008-05398). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Procesos de Formación Mineral

Procesos de interacción entre sulfatos y disoluciones acuosas: implicaciones mineralógicas y medioambientales (CGL2007-65523-C02-01/BTE). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Estudio de procesos de disolución-cristalización relevantes en medioambiente y biomineralización (CGL2010-20134-C02-01) Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Mineralogía y geoquímica de materiales que contienen uranio (AIB2010PT-00282). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Indicadores geológicos, geoquímicos y cristaloquímicos de los diferentes mecanismos de formación de grafitos naturales (CGL2006-00835). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Mineralizaciones de grafito en rocas ígneas básicas: implicaciones en el ciclo del carbono corteza-manto (CGL2010-16008). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Aprovechamiento de residuos mineros e industriales para la fabricación de áridos ligeros en la Comunidad de Castilla-La Mancha (PBI05-044).

Reciclaje de residuos mineros y bolsas de plástico para la fabricación de áridos ligeros. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Sepiolita-paligorskita: Cristaloquímica y propiedades. Nuevos retos (CGL2009-10764). Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).

Procesos de Formación Mineral y Mineralogía Aplicada (962062). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Procesos metalogénicos en sistemas magmáticos e hidrotermales (910107). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Unidades Técnicas

Estudio, Evaluación y Modelización de fenómenos perturbadores sobre los observables geodésicos. Aplicación en el LGL a la determinación del nivel del mar en relación con el Cambio Climático (CGL2007-65110). Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

INTERREG IIIB - Volcanismo de la Macaronesia (03/MAC/2.3/A4). Unión Europea.

Geodesia (910505). Ayudas a grupos de investigación Santander - Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Programa INNOCAMPUS-2010, Campus de Excelencia Internacional. Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

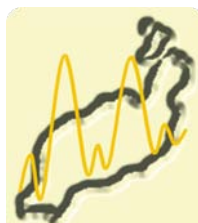


Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Programa Geo
materiales

Conservación del Patrimonio



Laboratorio Geodinámico
de Lanzarote (LGD)



CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN
Comunidad de Madrid
www.madrid.org



UNIÓN EUROPEA
FONDO SOCIAL EUROPEO