

## **Terremotos históricos (antes de 1755) en la península Ibérica y su presencia en los catálogos.**

### ***Historical earthquakes (before 1755) in the Iberian Peninsula and their presence in the catalogues.***

A. Udías<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Dpto. de Geofísica y Meteorología, Universidad Complutense, Madrid 28040.

audiasva@ucm.es

#### ***RESUMEN***

Terremotos en la península Ibérica aparecen en los primeros catálogos generales de terremotos de Bonito (1689) y Zahn (1696) pero el mayor número 45 está en el de Moreira de Mendonça (1758) al que sigue el de von Hoff (1840) con 34. El primer catálogo específico para la región es el de Perrey (1847) con 59 terremotos anteriores a 1755. El primer catálogo moderno para la región es el Navarro-Neumann (1917, 1921) con 85 terremotos antes de 1755 al que sigue el más extenso y detallado de Galbis (1932,1940) con 265, en el que se basan con pequeños cambios y adiciones los siguientes de Munuera (1963), Mezcua y Martínez Solares (1983) y Martínez-Solares y Mezcua (2002). Es importante analizar la documentación histórica sobre la que se basa la información de los terremotos en la península Ibérica antes de 1755. Terremotos anteriores al año 1000 tienen poca base histórica con excepción de los reseñados por historiadores árabes después del año 800. Los terremotos entre 1000 y 1500 reseñados en los catálogos tienen bastantes discrepancias en las fechas y lugares de mayor daño. Se necesitan, por lo tanto, una evaluación crítica de las fuentes históricas originales. Para el periodo 1500-1755 la información es más fiable, con mayor precisión en las fechas y el acuerdo entre los catálogos es mayor sobre todo en los más importantes, por ejemplo, los de 1504, 1531, 1680, 1722 y 1748. En conclusión es necesario un estudio detallado de cada terremoto con una búsqueda cuidadosa de documentación contemporánea.

#### ***ABSTRACT***

Earthquakes in the Iberian Peninsula can be found in the first global catalogs of earthquakes by Bonito (1689) and Zahn (1696), but a larger number 45 is in the catalog by Moreira de Mendonça (1758) and the next one by von Hoff (1840) with 34. The first specific catalog for this region is by Perrey (1847) with 59 earthquakes before 1755. Navarro-Neumann (1917, 1921) published the first modern catalog for the region with 85 earthquakes before 1755 that was followed by the more extended and detailed catalog by Galbis (1932,1940) with 265. On this catalog are based with some additions and changes the more modern by Munuera (1963), Mezcua and Martínez Solares (1983) and Martínez-Solares and Mezcua (2002). It is important to analyze the historical documents on which is based the information about the earthquakes in the Iberian Peninsula before 1755. Earthquakes before year 1000 have very scarce historical base with the exception of those after year 800 present in

Arabian historians. Earthquakes between years 1000 and 1500 in the catalogs present many discrepancies about dates and places of greatest damage. A critical evaluation is needed of the original historical sources. For the period 1500-1755 the information is more reliable with greater precision about the dates, times and damage with greater agreement among different catalogs, especially, for the most important ones, for example those of 1504, 1531, 1680, 1722 and 1748. In conclusion a detailed study of each earthquake is needed with a search for contemporary documentation.

## **Catálogo de Daños por Terremotos en España (CDTE)**

### ***Catalog of Earthquake Damage in Spain (CDTE)***

**Fernández, Javier<sup>(1)</sup>; Alguacil, L.<sup>(2)</sup>; Bustamante, A.<sup>(2)</sup>; Cabria, A.<sup>(1)</sup>; Cid, Javier<sup>(3)</sup>; Espejo, F. S.<sup>(4)</sup>; Martínez, J. M.<sup>(5)</sup>; Nájera, A.<sup>(4)</sup>; Pascual, G.<sup>(2)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)

<sup>(2)</sup> Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE)

<sup>(3)</sup> CiVilis

<sup>(4)</sup> Consorcio de Compensación de Seguros (CCS)

<sup>(5)</sup> Instituto Geográfico Nacional (IGN)

fernandezfrailejavier@yahoo.es

### ***RESUMEN/RESUMO***

El Catálogo de Daños por Terremotos en España (CDTE) es un proyecto que se está desarrollando desde marzo de 2015, a raíz del convenio de colaboración suscrito entre el Consorcio de Compensación de Seguros, la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE), la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional y el Centro Nacional de Información Geográfica. En la elaboración del CDTE se está siguiendo la metodología que se utilizó en el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH) que viene desarrollando y manteniendo la DGPCE desde el año 1995.

El CDTE recoge datos de los daños que han ocasionado los terremotos en España desde el año 1048. Para cada terremoto catalogado se incluye, a nivel municipal, información sobre las víctimas y los daños producidos en viviendas, infraestructura hidráulica y de transporte, agricultura, ganadería, industria, servicios básicos y equipamiento municipal. Además, en el catálogo se incluyen los parámetros sísmicos propios de cada terremoto, su evolución como series sísmicas, la bibliografía consultada y su documentación adicional, como mapas, fotografías, artículos, etc.

Este catálogo se está desarrollando teniendo en cuenta las iniciativas propuestas desde la Unión Europea, tanto para elaborar bases de datos de daños por desastres, como para los estudios de la intensidad sísmica (Escala Europea de Intensidad Macrosísmica, EMS-98).

### ***ABSTRACT***

Catalog of Earthquake Damage in Spain (CDTE) is a project that has been developed since March 2015 following the agreement signed between the Insurance Compensation Consortium, the Directorate-General for Civil Protection and Emergency (DGPCE), the National Geographic Institute and the National Center for Geographic Information. To elaborate the CDTE it is being used the

methodology of the National Catalogue of Historical Floods in Spain (CNIH) that has been developed and supported by the DGPCE since 1995.

The CDTE collects damage data in Spain caused by earthquakes since 1048. For each cataloged earthquake, it records the information in all the municipalities about victims, housing damage, hydraulic and transport infrastructure, agriculture, livestock, industry, basic services and municipal equipment. Moreover the catalog includes the own seismic parameters of each earthquake, its evolution as seismic series, the bibliography and additional documentation, such as maps, photographs, scientific reports, etc.

This catalog is being developed taking into account the initiatives proposed by the European Union, both to develop databases of disaster damage, as for studies of seismic intensity (Intensity Scale European Macroseismic, EMS-98)

## **El terremoto de Montesa de 1748: un suceso singular** *The 1748 Montesa earthquake. A singular event*

**E. Buforn<sup>(1,2)</sup>, A. Udías<sup>(1)</sup>, C. Sanz de Galdeano<sup>(3)</sup> y S. Cesca<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dept. Geofísica y Meteorología. Facultad CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Complutense s/n, 28040, Madrid (España)

<sup>(2)</sup> IGEO, CSIC, Madrid, España

<sup>(3)</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC, Granada, España

<sup>(4)</sup> GFZ, Potsdam (Alemania)

ebuforn@ucm.es

### **RESUMEN**

El terremoto de Montesa 23 de Marzo de 1748 produjo daños importantes en el levante español y se sintió en una amplia zona. Este terremoto ocurrió en una región tradicionalmente considerada de baja sismicidad y donde han ocurrido pocos terremotos de gran tamaño. A partir de la abundante documentación existente, en especial de los daños causados por el terremoto en el castillo de Montesa y en la ciudad de Játiva, se ha re-evaluado la intensidad obteniéndose una intensidad máxima  $I = IX$  (EMS-1998). A partir de los daños se ha asignado un epicentro en  $39.00^{\circ}N$ ,  $0.64^{\circ}W$ , la hora origen las 6h 30m y una magnitud de 6. Como mecanismo del terremoto se propone una fractura bilateral de 10km de longitud, azimut  $60^{\circ}$ , buzamiento  $45^{\circ}$  y rake  $90^{\circ}$ , de acuerdo con las fallas presentes en la zona y con un foco muy superficial. Con este modelo de fractura se han generado valores teóricos de aceleración que se han comparado con los valores observados de intensidad

### **ABSTRACT**

The Montesa earthquake of 23 March 1748 in southeast Spain caused heavy damage and was felt over a wide area. It occurred in a region considered of low seismic hazard where few large earthquakes have happened. The abundant contemporary documentation about the damage caused by the earthquake, especially to the castle of Montesa and the city of Játiva, allows a re-evaluation of the seismic intensity distribution giving a maximum intensity  $I = IX$  (EMS-1998). The focal parameters are estimated as: origin time 6 h 30 m local time, epicentre  $39.00^{\circ}N$   $0.64^{\circ}W$ , and magnitude 6. The spatial distribution of ground acceleration derived from intensity values is modelled on a very shallow bilateral rupture of 10 km length with strike  $60^{\circ}$ , dip  $45^{\circ}$ , and rake  $90^{\circ}$ . This source orientation agrees with the faults present in the area.

## La red sísmica “Western Mediterranean” (WM): 20 años de contribución al conocimiento de la región Ibero-Mogrebí.

### *Western Mediterranean (WM) seismic net: 20 years of contribution to study the Ibero-Mogrebi region.*

J. Martín Davila <sup>(1)</sup>, E. Buforn <sup>(2)</sup>, A. Pazos <sup>(1)</sup>, A. Udías <sup>(2)</sup>, M. Harnafi <sup>(3)</sup>, M. Benzzeghoud <sup>(4)</sup>, A. Strollo <sup>(5)</sup>, R. Cabieces <sup>(1)</sup>, M. Matessini <sup>(2)</sup>, D. El Ouai <sup>(3)</sup>, B. Caldeira <sup>(4)</sup>, W. Hanka <sup>(5)</sup>.

<sup>(1)</sup> Real Instituto y Observatorio de la Armada, Plaza de las marinas s/n, 11100 San Fernando (Cádiz)

<sup>(2)</sup> Universidad Complutense Madrid, Fac. Físicas, Plaza Ciencias 1, 28040 Madrid

<sup>(3)</sup> Scientific Institute, Université Mohamed V-Agdal, Rabat, Morocco.

<sup>(4)</sup> CGE and Physics Department. Universidade de Evora

<sup>(5)</sup> GeoforschungsZentrum, Potsdam, Germany

mdavila@roa.es

### **RESUMEN/RESUMO**

En el año 1996 el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM), con la colaboración del GeoforschungsZentrum de Potsdam (GFZ), instalaron una estación sísmica de banda ancha en las inmediaciones del Puerto de Santa María (Cádiz), siendo el comienzo del despliegue de una red sísmica que en la actualidad cuenta con 15 estaciones instaladas en la región Ibero-Mogrebí en emplazamientos de la Península Ibérica, Islas Baleares y Norte de África. Parte de las estaciones han sido instaladas en colaboración con la Universidade de Évora (Portugal) y el Instituto Científico de la Universidad Mohamed V (Rabat, Marruecos). La red ha sido denominada “Western Mediterranean” (código FDSN: WM). Las estaciones cuentan con sensor Streckeisen STS2 o STS2.5 y digitizador Quanterra/Earth data. La transmisión de datos se realiza vía VSAT/Internet. En algunas además se ha instalado un acelerómetro Episensor.

Con la finalidad de complementar los registros de la red WM, el ROA/UCM disponen de una red de Sismómetros de Fondo marino (OBS) de banda ancha denominada Red FOMAR, que con el apoyo de la Armada ha sido desplegada por periodos de ocho meses en emplazamientos de Golfo de Cádiz-Mar de Alborán.

Asimismo, el ROA ha desplegado en la zona una red geodinámica GPS con estaciones co-instaladas con las estaciones de la red WM.

En este trabajo se presentarán los principales hitos y colaboraciones de la red WM, su situación actual y los planes de futuro.

***ABSTRACT***

On 1996 the Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) and the Universidad Complutense de Madrid (UCM), with the collaboration of GeoforschungsZentrum of Potsdam (GFZ), installed a broad band seismological station in the vicinities of the Puerto Santa Maria (Cadiz), being the start point for the deployment of a seismic net, which currently has 15 stations installed in the Ibero-Maghrebian region, with stations located in Southern Iberian Peninsula, Balearic islands and Northern Africa. Some them have been installed in collaboration with the Universidade de Évora (UEVO, Portugal) and the Scientific Institute of the Université Mohammed V, Rabat, (ISRABAT, Morocco). The network has been named as Western Mediterranean (FDSN code: WM). All station have Streckeisen STS-2 or STS-2.5 sensor, Quanterra/Earth Data digitizer. Data transmission is carried out through VSAT/Internet link. Some them also have an Episensor accelerometer.

To complement WM net, ROA/UCM periodically deploy a broad band Ocean Bottom Seismometer net (FOMAR net) in the Gulf of Cadiz-Alboran Sea area with the support of the Spanish Navy.

A GPS geodynamic net has been also installed by ROA in the area with stations collocated with WM seismic stations.

In this work an overview of the WM net activities, current status and next future plans will present.



## **A Rede Acelerométrica em Portugal em 2016** ***Strong motion Network in Portugal in 2016***

**Carlos Sousa Oliveira<sup>(1)</sup> , Fernando Carrilho<sup>(2)</sup> , José Pena<sup>(2)</sup> , Guilherme Vale<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Técnico Superior, Lisboa

<sup>(2)</sup> Instituto Portugues do Mar e Atmosfera

csoliv@civil.ist.utl.pt

### ***RESUMO***

A rede acelerométrica sofreu uma grande evolução desde o primeiro registo obtido por ocasião do sismo de 28 de fevereiro de 1969. Sob a coordenação do IST a rede acelerométrica evoluiu significativamente desde 1994 com a instalação de novas estações digitais nos Açores e no Continente, inicialmente com dinâmica de 12bits a qual evoluiu para equipamentos de 16bits, 18bits e mais tarde 22bits em 2010-2011. No âmbito da modernização da rede sísmica nacional, conduzida entre 2006 e 2011, o então Instituto de Meteorologia (atual IPMA) equipou as novas estações de 24bits com sensores acelerométricos co-localizados com os de banda larga, tendo estes equipamentos sido instalados nos Açores, Madeira e Continente.

Em 2015 o IST e o IPM estabeleceram um protocolo de colaboração visando a utilização conjunta do maior número possível de estações acelerométricas com transmissão em tempo real/quase real, permitindo mais valias significativas relativamente à cobertura do território nacional. No final de 2016 deverão estar em funcionamento com transmissão quasi-online 65 estações acelerométricas em todo o território Português, o que corresponde a um acréscimo muito significativo relativamente ao início de 2015. Com esta colaboração foi já possível melhorar de forma notória a rede acelerométrica nacional com vantagem na determinação rápida dos parâmetros do sismo, no traçado de "shakemaps", e na utilização futura de sistemas de alarme precoce (EEWS) para muitas áreas do País.

### ***ABSTRACT***

The strong motion network has undergone a major evolution from the first record obtained during the earthquake of February 28, 1969. Under the coordination of the IST, the strong motion network has evolved significantly since 1994 with the installation of new digital stations in the Azores and the mainland, initially dynamic 12bit which evolved into equipment of 16bits, 18bits and 22bits, later in 2010-2011. As part of the modernization of the national seismic network, conducted between 2006 and 2011, the then Institute of Meteorology (now IPMA) has equipped the new stations with 24bit acceleration sensors co-located with broadband, and these devices have been installed in the Azores, Madeira and mainland.

In 2015 IST and IPM established a cooperation agreement aimed at the joint use of the largest possible number of strong motion stations transmitting real / near real time, enabling significant gains on the coverage of the national territory. At the end of 2016, 65 strong motion stations should be in operation with transmission quasi-online throughout the Portuguese territory, which represents a significant increase





**Madrid, 2016**

over the beginning of 2015. With this collaboration it has been possible to improve noticeably the national strong motion network with great advantages in the rapid determination of earthquake parameters, the development of "shake-maps", and the future use of early warning systems (EEWS) for many areas of the country

## **Documentación e instrumentación histórica en el Observatorio Geofísico de Toledo**

### ***Historical documentation and instrumentation at Toledo Geophysical Observatory***

**J. M. Tordesillas<sup>(1)</sup>, M. López Muga<sup>(1)</sup> and G. Alonso<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Geográfico Nacional, Observatorio Geofísico de Toledo, Avenida Adolfo Suárez, km 4, 45005, Toledo

jmtordesillas@fomento.es/mlmuga@fomento.es

#### ***RESUMEN***

El Observatorio Geofísico de Toledo, institución con más de cien años de historia en el mundo de la geofísica, está acometiendo en los últimos años la tarea de recuperar la documentación geofísica que se ha generado en los distintos observatorios del IGN a lo largo de su historia, así como la instrumentación geofísica utilizada en los mismos.

En el Archivo Nacional de Datos Geofísicos, que se encuentra situado en este Observatorio, se ha centralizado toda la documentación sísmica y geomagnética. Dicha documentación está siendo catalogada y almacenada en condiciones adecuadas para su preservación. Además, se está procediendo en la actualidad a la digitalización de la misma para tener una copia de seguridad y para poder atender las peticiones de datos que se reciben en este Archivo.

Por otro lado, el taller del Observatorio se dedica en los últimos años a la restauración de la instrumentación geofísica histórica, siendo más de 60 los instrumentos de sismología, geomagnetismo, geoelectricidad y meteorología que se han restaurado y puesto en valor, quedando expuestos en unas salas habilitadas para tal fin en el propio Observatorio.

#### ***ABSTRACT***

Toledo Geophysical Observatory, a hundred-year-old institution in the world of geophysics, is now undertaking the job of recover the geophysical documentation produced in all of IGN observatories throughout their history, as well as geophysical instrumentation used on them.

At the Geophysical Data National Archive, located inside Toledo Observatory, is now concentrated all the seismic and geomagnetic documentation that are being catalogued and stored with the appropriate conditions for their preservation. Besides, this documentation are currently being digitized in order to obtain a backup of them and to attend the data request received at this Archive.



**Madrid, 2016**

In addition, the Observatory Workshop is now dedicated to the task of restore the historical geophysical instrumentation, being more than 60 the seismic, geomagnetic, geoelectrical and meteorological instruments that have been restored and displayed in the exhibition rooms of the Observatory.

## **Recuperação dos movimentos do solo a partir de sismogramas antigos** *Recovering the ground motions from old seismograms*

**B. Caldeira<sup>(1)</sup>, J. Borges<sup>(1)</sup> and M. Bezzeghoud<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto de Ciências da Terra e Departamento de Física da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal

bafcc@uevora.pt

### **RESUMO**

A investigação de qualquer aspecto de terremotos antigos, como o processo de ruptura, por aplicação das modernas ferramentas analíticas da sismologia, depende da possibilidade de se conseguirem formas de onda apropriadas e com a estrutura digital imposta pelas novas técnicas. Tal requisito só é possível respeitar se houver a capacidade de produzir as requeridas formas de onda a partir de velhos sismogramas em suporte físico analógico (papel ou microfilme). Para além da eventual qualidade que os dados analógicos possam ter e do nível de sofisticação das tecnologias de digitalização disponíveis, recuperar os movimentos da Terra a partir de sismogramas antigos não é uma tarefa simples. Frequentemente as informações do sistema de registo necessárias para recuperar os movimentos da Terra (período próprio, amortecimento, amplificação, polaridade e marcas de tempo precisas...) são duvidosas por haver contradições em fontes diferentes. Neste trabalho, apresentamos um procedimento para resolver a questão da constante de amplificação, aspecto que falha com frequência e que por isso impede atribuir a métrica correta aos movimentos registados. O método proposto baseia-se na integração da função temporal da fonte (FTF) estimada por desconvolução no domínio do tempo de sismogramas elementares sintéticos dos sismogramas observados digitalizados. É um procedimento que pode ser levado a efeito desde que conhecida a resposta do instrumento (ainda que sem segurança em relação à amplitude), a localização e a magnitude do sismo em questão..

### **ABSTRACT**

If we are interested to investigate the rupture process of old earthquakes applying the modern seismology tools, we face the necessity to have the proper waveforms in the required digital structure. The only manner to have such data is producing them from old seismograms in an analogue physical support (paper or microfilm). Despite the quality the analog data and the digitizing technologies available, recover the ground motions from old seismograms is not a straightforward issue. Make the correction of the instrument response, which is a simple and a standard processing task when used modern seismic data (waveforms and metadata), it is a custom complicated procedure, when performed with old seismograms. Frequently the information about the recording systems, required to recover the ground

motions (free period, damping, magnification, time accuracy and polarity) is scattered, has been lost or is doubtful. In this work we present a procedure to resolve this issue, based on the assignment of the moment magnitude in the integration process of the Source Time Function (STF) estimated by a temporal deconvolutive approach of the synthetic double couple elementary seismograms from the digitized observed seismograms.

## Previsión sísmica de réplicas de la serie del Mar de Alborán de Enero de 2016

### *Seismic aftershock forecasting of the January 2016 Alboran Sea series*

A. Jiménez<sup>(1)</sup>, M. NicBhloscaidh<sup>(1)</sup>, John McCloskey<sup>(1)</sup>, Lucía Lozano<sup>(2)</sup> and R. Antón<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> School of Environmental Sciences, University of Ulster, Magee campus, Derry, N. Ireland

<sup>(2)</sup> Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento, Madrid, Spain

a.jimenez@ulster.ac.uk

### **RESUMEN/RESUMO**

La serie sísmica que siguió a los terremotos de Mw=5.2 del 21 y Mw=6.3 del 25 de Enero de 2016 se sintió a lo largo de toda la costa que rodea al Mar de Alborán, particularmente en la ciudad de Melilla. El evento de Mw=6.3 del 25 de Enero se sintió con intensidad máxima de VI en dicha ciudad, y produjo algunos daños no estructurales en edificios. Es más, ese evento y la serie sísmica que aún continúa ha causado miedo y preocupación en la población, además de daños adicionales a los edificios ya afectados, debido a las réplicas que siguieron al evento principal.

La previsión sísmica de réplicas es ahora un campo muy importante. El proyecto CSEP (Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability) ha evaluado recientemente numerosos modelos en diferentes partes del mundo. Aquí usamos un modelo recientemente desarrollado, el método FAME (Forecasting Aftershocks from Multiple Earthquakes), para producir previsiones de esta serie de forma retrospectiva. Este modelo se basa en dos leyes estadísticas básicas de las réplicas, la ley de Gutenberg-Richter y la de Omori-Utsu, y tiene en cuenta sismos secundarios. Usando este modelo, presentamos la clase de información que se podría haber dado en tiempo real a los miembros relevantes de la sociedad (autoridades de Protección Civil, gestores de emergencias y, en su caso, la sociedad en general) para reducir el riesgo asociado a las réplicas y el miedo en la población.

### **ABSTRACT**

The seismic series that followed the Mw=5.2 January 21<sup>st</sup> and Mw=6.3 January 25<sup>th</sup> 2016 earthquakes was felt along the whole Spanish coast surrounding the Alboran Sea and, particularly in Melilla city. The Mw=6.3 January 25<sup>th</sup> 2016 event was felt with maximum intensity of VI in that city, producing some non-structural damage to buildings. Moreover, that event and the still ongoing seismic series has caused fear and worry to the population, and further damage to already affected buildings has been produced by the aftershocks that followed the main event.

Aftershock forecasting is an important topic in seismology right now. Several models have been recently tested by the CSEP (Collaboratory for the Study of



**Madrid, 2016**

Earthquake Predictability) project in different parts of the world. Here we use a recently developed model, the FAME (Forecasting Aftershocks from Multiple Earthquakes) method, to retrospectively forecast this seismic series. This model is based on the two basic laws that govern aftershock statistics, the Gutenberg-Richter law and the Omori-Utsu law, and takes into account secondary triggering. By using this model, we present the kind of information that could have been presented in real time to the relevant members of society (Civil Protection authorities, emergency managers and, if appropriate, the society in general) to reduce the risk associated to aftershocks and the fear in the population.



## **Análisis de la sismicidad del enjambre sísmico de Torreperogil-Sabiote 2012-2013, mediante la modelización temporal ETAS**

### ***Analysis of background seismicity of the Torreperogil-Sabiote 2012-2013 seismic swarm, using time-dependent ETAS modeling***

**P. Yazdi<sup>(1)</sup>, S. Hainzl<sup>(2)</sup> and J. M. Gaspar Escribano<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain

<sup>(2)</sup> Section 2.1 “Physisc of the Earth and Volcanoes”, GFZ-German Research Center for Geoscience, Potsdam, Germany

p.yazdi@alumnos.upm.es

#### ***RESUMEN/RESUMO***

El 20/10/ 2012 empezó una serie sísmica de 8 meses de duración con 2000 eventos entre las poblaciones de Torreperogil y Sabiote (sur de España). Este repentino incremento de la actividad sísmica apareció después de unos pequeños clusters desde 2010 en un área cercana (<30 km). La distribución de los epicentros de esta secuencia causó una considerable alarma social. La series está caracterizada por eventos de bajas magnitudes ( $M_{\max}=4$ , 5/2/2013) dentro de un rango de variación pequeño, característicos de un enjambre sísmico. Estudiar los enjambres y sus características puede mejorar nuestro entendimiento de las fuerzas transitorias que determinan el patrón de sismicidad en espacio y tiempo. Especialmente para casos como en el sur de España, de sismicidad baja-moderada, puede usarse un método de modelización de la distribución espacio-temporal más completo cómo el modelo ETAS. El objetivo principal de este estudio es investigar la evolución temporal de la sismicidad usando una versión modificada del modelo ETAS temporal que considera variaciones temporeles en la tasa de simicidad de fondo. Los resultados preliminares apuntan a que las altas fluctuaciones en la tasa de sismicidad de fondo modelada probablemente tienen más relación con una carga externa (difusión de flúidos, terremotos lentos, etc.) que con una respuesta elástica interna (serie de réplicas). Por otro lado, el sistema presenta una mayor productividad de réplicas con menores valores de b después del enjambre (hasta el final de 2014), que puede ser debido a un nuevo régimen de esfuerzos de carácter tectónico.

#### ***ABSTRACT***

On October 20<sup>th</sup>, 2012, a relatively long lasting (8 months) series of low-magnitude earthquakes began with over 2000 events between small towns of Torreperogil and Sabiote, Southern Spain. This sudden rise in seismic activity came after the slow occurrence of small clusters since 2010 and within a radius of 30 km. Shallow and dense epicentral distribution of this sequence caused a considerable social alarm. The sequence is composed by small magnitude events ( $M_{\max}=4$ , 5/2/2013) with a small variation range, which is characteristic of seismic swarms. Earthquake swarms studies and their characteristics can improve our understanding of the transient

forcing that causes such seismicity patterns. Especially for cases of low-moderate seismic activity as Southern Spain, a more comprehensive modeling method such as ETAS might be used. The main effort of this paper is to investigate the temporal evolution of the seismicity using a modified version of the temporal ETAS modeling. The results show high fluctuations in modeled background seismicity rates, which are likely related to an external loading rather than an internal elastic one (as an aftershock sequence). Such time-varying process together with the high contribution of background seismicity during the swarm, are suggesting an underlying aseismic process (fluid conduction, slow earthquakes, etc) rather than a tectonic loading. Instead the system illustrates a higher productivity with smaller  $b$ -values after the swarm (until the end of 2014) that can be due to a new forcing regime with more tectonic characteristics.

## **Relocalización de la sismicidad asociada al almacén de gas CASTOR** *Relocation of the seismicity associated with the CASTOR underground gas storage*

**B. Gaité<sup>(1)</sup>, A. Ugalde<sup>(1)</sup>, A. Villaseñor<sup>(1)</sup> and E. Blanch<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Barcelona, España

<sup>(2)</sup>Observatori de l'Ebre (OE), CSIC – Universitat Ramon Llull, Roquetes, España

antonio.villasenor@csic.es

### ***RESUMEN***

En septiembre de 2013 se detectó un aumento inusual de la sismicidad en las inmediaciones del almacén subterráneo de gas CASTOR, situado al sur del Delta del Ebro y a 22 km de la costa de Castellón. Esta sismicidad comenzó al mismo tiempo que el inicio de las actividades de inyección del gas colchón. La correlación espacial y temporal de la sismicidad con la inyección del gas indica que se trata de un episodio de sismicidad causado por una actividad antropogénica. Un aspecto importante de este episodio es que los 3 mayores terremotos de la serie, con magnitudes  $M_w$  comprendidas entre 4.2 y 4.0, ocurrieron varios días después de la finalización de la inyección.

En este trabajo presentamos relocalizaciones de los terremotos mejor registrados de la serie, utilizando un nuevo modelo 3D de velocidades para la zona, y nuevos tiempos de llegada obtenidos por correlación de forma de onda. Para la mayoría de terremotos obtenemos profundidades focales en torno a los 6 km, sensiblemente superiores a la profundidad de inyección (2 km). Asimismo la distribución de epicentros muestra una orientación NO-SE, perpendicular a la costa y a las principales fallas conocidas de la zona. Esto indicaría que la mayor parte de la sismicidad, incluyendo los terremotos mayores, ocurrió como consecuencia de la reactivación de una falla no cartografiada, a mayor profundidad que la ubicación del almacén.

### ***ABSTRACT***

During September 2013 an unusual increase in seismic activity was observed in the vicinity of the underground gas storage CASTOR, located south of the Ebro delta and 22 km off the coast of Castellón. This seismicity began simultaneously with the start of the injection of the base gas. The temporal and spatial correlation of the seismicity indicates that this episode was caused by anthropogenic activity. An important aspect of this episode is that the 3 largest earthquakes in the sequence, with magnitudes  $M_w$  between 4.2 and 4.0, occurred days after the injection had stopped.

In this work we present relocations of the well recorded earthquakes in the sequence, using a new 3D velocity model for the region, and new arrival times obtained by waveform cross-correlation. For the majority of events we obtain focal depths around 6 km, appreciably deeper than the injection depth (2 km). Additionally, the epicenter distribution exhibits a NW-SE orientation, perpendicular to the coast and to the main known faults in the region. This would indicate that most of the seismicity, including the largest earthquakes, occurred as a result of the reactivation of an unmapped fault, deeper than the location of the gas storage.

## **Localización hipocentral de terremotos a partir de datos de estaciones sísmicas en tierra y OBS.**

### ***Hypocentral location of earthquakes from seismic data of stations on ground and OBS.***

**R. Cabieces<sup>(1)</sup>, E. Buforn<sup>(2)</sup>, A. Pazos<sup>(3)</sup>, J.V. Cantavella<sup>(4)</sup> y M. Mattesini<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Real Instituto y Observatorio de la Armada, Cecilio Pijazón, s/n, 11100 San Fernando, Cádiz. Spain.

<sup>(2)</sup> Universidad Complutense de Madrid

<sup>(3)</sup> Real Instituto y Observatorio de la Armada

<sup>(4)</sup> Instituto Geográfico Nacional

rcabdia@gmail.com

## **RESUMEN**

La localización de terremotos con foco en el mar es uno de los problemas que presenta la sismicidad de la Península Ibérica. Una solución a este problema es la utilización de Ocean Bottom Seismometers (OBS), para completar la red sísmica en tierra.

Se presentan los resultados de relocalización de tres terremotos (11 Marzo de 2014 Magnitud mb 5.3, 19 Agosto de 2014 Magnitud mbLg 4.5 y el 03 Septiembre 2014 Magnitud mbLg 3.6) utilizando los datos de estaciones sísmicas en tierra y OBS de la red FOMAR. El software utilizado es el algoritmo Non Lin Loc (NLL). Se llegó al resultado, de que en los dos últimos terremotos no hubieron discrepancias significativas en la localización en comparación con la del IGN, pero debido a diversos factores como la falta de cobertura azimutal o la poca densidad de la red sísmica la profundidad del primer terremoto quedó mal determinada.

## **ABSTRACT**

The localization of earthquakes with sea focus is one of the problems that show the seismicity in the Iberian Peninsula. One solution to this problem is the use of ocean bottom seismometers (OBS) to fill the seismic ground net.

It will be shown the results of relocalization of three earthquakes (11 March de 2014 Magnitud mb 5.3, 19 August de 2014 Magnitud mbLg 4.5 y el 03 September 2014 Magnitud mbLg 3.6) using data from ground seismic stations and OBS of the FORMAR net. NLL algorithm will be used in this work. The final results shown that second and the third earthquake was successfully located but the first one was located with a big error in depth determination.

## **Efectos de la composición y de la direccionalidad de las componentes horizontales en la intensidad sísmica**

### ***Effects of the composition and directionality of horizontal components on the seismic intensity***

**D. A. Hidalgo-Leiva<sup>(1,2)</sup>, L. G. Pujades<sup>(1)</sup>, S. A. Diaz<sup>(1,3)</sup>, A. .H. Barbat<sup>(1)</sup> and J. R. González-Drigo<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), DECA-ETCG, Jordi Girona 1-3, Edificio D2, 08034, Barcelona, España.

<sup>(2)</sup>Universidad de Costa Rica (UCR), Costa Rica.

<sup>(3)</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), México.

diego.hidalgo@upc.edu, lluis.pujades@upc.edu

#### ***RESUMEN***

Las medidas de intensidad sísmica de aceleración, son empleadas para la definición de leyes de atenuación y estudios de amenaza sísmica. Estas medidas suelen definirse a partir de la respuesta espectral en aceleración de dos acelerogramas horizontales, combinando de diferentes maneras estas componentes espectrales, aunque es frecuente usar la media geométrica. En este trabajo se proponen y evalúan dos técnicas diferentes para definir la respuesta sísmica máxima de sistemas amortiguados de un grado de libertad. Para cada periodo, la primera, considera la combinación de la respuesta espectral de cada componente; la segunda, se basa en la combinación previa de las historias temporales de respuesta. Además, para todas las mediciones así definidas se verifica su dependencia con la orientación del sensor. También, se comprueba la invariancia de la respuesta espectral con respecto a la orientación del sensor al emplear la media cuadrática, la cual representa el módulo del vector de aceleración de la partícula sobre el plano horizontal. Finalmente, las medidas de intensidad examinadas, se estudian para una extensa base de datos de registros de aceleración de Centro América, obteniendo los valores medios de las relaciones entre diferentes parámetros y sus desviaciones estándar; como paso previo para este análisis masivo, se ha verificado la relación entre la máxima respuesta vertical y la respuesta máxima horizontal, para las diferentes combinaciones planteadas.

#### ***ABSTRACT***

The seismic intensity measures based on acceleration, are used to define attenuation laws and in seismic hazard analysis. Usually, these measures are defined in terms of the acceleration response spectra of two horizontal accelerograms, performing different combinations of the spectral components, although the geometric mean is the most commonly used. This paper proposes and evaluates two different techniques to define the maximum seismic response of damped single degree of freedom systems. For each period, the first method, considers the combination of the spectral response of each component; the second one is based on prior combination of the response time histories. Moreover, for all the measures, dependency on the

orientation of the sensor is verified. Also, the orientation-independence of the spectral response, using the quadratic mean, has been confirmed. The quadratic mean represents the modulus of the acceleration vector of a particle over the horizontal plane. Finally, the intensity measures examined are studied for an extensive database of acceleration records from Central America. The average values of the ratios between different intensity measures and their standard deviation have been obtained. As a preliminary step of this massive analysis, the correlation between the maximum vertical and horizontal responses has been verified, for the different combinations posed.



**Proceso de ruptura del terremoto del Sur de Alborán de 25 de enero de 2016 ( $M_w=6.4$ ) y serie de réplicas. Resultados preliminares**  
*Rupture process of 2016, 25 January earthquake, South Alboran ( $M_w=6.4$ ) and aftershocks series. Preliminary results.*

E. Buforn<sup>(1)</sup>, C. Pro<sup>(2)</sup>, C. Fresno<sup>(3)</sup>, J.V. Cantavella<sup>(3)</sup>, C. Sanz de Galdeano<sup>(4)</sup>,  
V. Bartolomé<sup>(1)</sup> and A. Udías<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidad Complutense de Madrid, Madrid, [ebufornp@ucm.es](mailto:ebufornp@ucm.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida, [cpro@unex.es](mailto:cpro@unex.es)

<sup>(3)</sup>Instituto Geográfico Nacional, Madrid, [cdelfresno@fomento.es](mailto:cdelfresno@fomento.es)

<sup>(4)</sup>Instituto Andaluz de CC. de la Tierra, Granada, [csanz@ugr.es](mailto:csanz@ugr.es)

[ebufornp@ucm.es](mailto:ebufornp@ucm.es)

***RESUMEN/RESUMO***

Se presentan el estudio del proceso de ruptura del terremoto principal de la serie de Alborán sur de 2016, así como el mecanismo focal del premonitor y de las réplicas mayores ( $M_w=4.5$ ). El sismo principal y la réplicas de  $M>4.5$  se han relocalizado utilizando el algoritmo NLLoc. El mecanismo del terremoto principal, se ha estudiado a partir de la inversión del slip sobre el plano de falla utilizando observaciones telesísmicas y por inversión del tensor momento sísmico a distancias regionales. Para un estudio más detallado de la función temporal de la fuente sísmica se ha utilizado el método de funciones de Green empíricas (EGF), a fin de confirmar los resultados obtenidos en la inversión telesísmica. Por último se ha realizado el estudio de directividad a partir de ondas superficiales a distancias telesísmicas y EGF. Los resultados preliminares obtenidos indican movimientos de fallas de desgarre con focos superficiales y orientación de los ejes de esfuerzos de compresión en dirección NNW-SE y extensión NE-SW en concordancia con la tectónica de la zona.

***ABSTRACT***

We have studied the rupture process for the 2016 Alboran main shock and the source mechanism of the foreshock and the largest aftershocks ( $M_w=4.5$ ). Main shock and largest aftershocks have been relocated using the NLLoc algorithm. Focal mechanism of main shock has been obtained from slip inversion over the rupture plane using teleseismic data. We have carried out the inversion of seismic moment tensor using regional data for foreshock and largest aftershocks. In order to obtain a more detailed source time function and to validate the results obtained from teleseismic data, we have used the Empirical Green Functions method (EGF). Finally, we have analyzed the directivity effect from teleseismic surface waves and



**Madrid, 2016**

EGF. Preliminary results show strike-slip motions with focus at shallow depth and horizontal stresses axis in agreement to the tectonic of the region.

## **Fuente del terremoto de 2016, Mw 6.3 del Mar de Alborán** *Source of the 2016, Mw 6.3 Alboran Sea earthquake*

**D. Stich<sup>(1,2)</sup>, R. Martín<sup>(1)</sup> and J. Morales<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain

<sup>(2)</sup> Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain

stich@ugr.es

### ***RESUMEN/RESUMO***

El terremoto del 25 de enero 2016 frente a la costa norte de Marruecos es el mayor terremoto registrado instrumentalmente en la región de Alborán, y desencadenante de una intensa secuencia de réplicas. Inversión regional del tensor momento indica un mecanismo de salto en dirección para el terremoto principal, y una prevalencia de mecanismos inversos puros entre las réplicas de mayor tamaño. Estos últimos son inesperados en la región y sugieren una repartición de la deformación durante la secuencia. Estimamos además funciones fuente aparentes para el sismo principal mediante deconvolución de registros de réplicas e inferimos parámetros de fuente lineal de duraciones aparentes. Posteriormente, las funciones fuentes completas se invierten para la distribución de slip a lo largo de la ruptura. El sismo principal puede ser modelado como una ruptura ligeramente asimétrica con longitud total de ~ 20 km y puede atribuirse a la falta de Al Idrisi.

### ***ABSTRACT***

The January 25<sup>th</sup> 2016 shock offshore N-Morocco is the largest instrumental earthquake in the Alboran region, starting an intense aftershock sequence. Regional moment tensor inversion indicates strike-slip faulting for the mainshock, and a prevalence of pure reverse faulting solutions among the larger aftershocks. The latter are rather unexpected in the region and suggest strain partitioning during the sequence. We further estimate apparent source time functions for the mainshock from deconvolution of aftershock recordings and infer line source parameters from apparent durations. Subsequently, the full apparent source time functions are inverted for the distribution of slip along the rupture. The mainshock can be modelled as slightly asymmetric rupture with total length of ~20km and may be attributed to the Al Idrisi fault.

## **Estrutura Sísmica da Ilha do Faial - Açores, Portugal** *Seismic structure of the Faial Island - Azores, Portugal*

**J. Borges<sup>(1)</sup>, B. Caldeira<sup>(1)</sup>, M. Bezzeghoud<sup>(1)</sup> and J. Carvalho<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto de Ciências da Terra e Departamento de Física da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal

<sup>(2)</sup> Laboratório Nacional de Energia e Geologia - Lisboa

jborges@uevora.pt

### **RESUMO**

Ao longo da História, a populações do Açores tem sido marcada pela ocorrência de sismos, cujos efeitos dependem da distância epicentral e magnitude dos eventos. O último evento com impacto significativo na ilha do Faial foi o sismo 9 de Julho de 1998 ( $M_w=6.2$ ), tendo causado 8 mortos, 150 feridos e a destruição de 1500 habitações. Assume, assim, grande importância para a região o desenvolvimento de técnicas de simulação e de predição dos movimentos sísmicos intensos.

O movimento sísmico é determinado pela distância epicentral, pelas características da fonte sísmica e pelos parâmetros físicos que caracterizam a estrutura geológica. Esta última é normalmente mal conhecida pois a sua caracterização depende em geral de medições indiretas, obtidas por métodos geofísicos, ou diretas, obtidas através de sondagens.

É comumente aceite que baixos valores de velocidades de propagação das ondas S, ou determinadas condições topográficas podem favorecer a amplificação das ondas sísmicas. Deste modo, assume particular interesse o conhecimento detalhado das propriedades do subsolo e da sua variabilidade espacial. Nesse sentido, foram realizados diversos perfis de refração de ondas P, S e de ondas superficiais (Multichannel Analysis of Surface Waves -MASW) tendo em vista a caracterização da velocidade de propagação das ondas de cisalhamento e coeficiente de Poisson do subsolo na ilha do Faial.

### **ABSTRACT**

Throughout history, the lives of the Azorean people have been marked by earthquakes that have had different effects depending on their proximity and magnitude. The last significant event of Azores (Portugal) occurred the July 1998  $M_w=6.2$  earthquake causing major destruction and affecting more than 5000 people, 8 deaths, 150 persons injured and 1500 homeless. Therefore, develop simulation tools for predicting the ground's motion and its consequences is a subject of enormous interest for this region. Ground motion

simulations are mainly based on source characteristics and are heavily dependent on the medium, which is still poorly understood.

The Subsurface soil condition can amplify the seismic waves, so, for seismic response analysis, it is necessary to know the soil properties and its spatial variability. For this purpose, we applied P-wave and S-wave refraction, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) to characterize shear wave velocity at different sites in the Faial Island.

## **Relaciones de esfuerzos entre grandes sismos de subducción, eventos de deslizamiento lento (SSE) y sismos repetitivos en México.**

### ***Stress relations among large subduction earthquakes, slow slip events (SSE) and repeating earthquakes in Mexico.***

**Miguel Ángel Santoyo<sup>(1)</sup> and Luis Antonio Domínguez<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Antigua Carretera a Pátzcuaro #8701, Morelia, México.

<sup>(2)</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores ENES, Unidad Morelia, UNAM.

email de contacto: santoyo@geofisica.unam.mx

#### ***RESUMEN***

En México, la zona de subducción Mexicana (ZSM) es generadora de los sismos más grandes ( $M > 7.5$ ) y potencialmente destructivos del país. Además de sismos inter-placa e intra-placa, en la ZSM se han observado a partir de datos GPS, al menos cinco grandes eventos de deslizamiento lento (SSE,  $M > 7.3$ ) en los últimos 16 años. Así mismo, mediante el análisis de formas de onda de registros de los últimos 15 años se han identificado un número significativo de sismos repetitivos cuyo mecanismo focal, área de ruptura y magnitud son prácticamente idénticos. Los sismos agrupados en secuencias presentan importantes relaciones espacio-temporales. Dichas relaciones pueden expresarse en términos de la transferencia de esfuerzos y pueden a su vez ocurrir entre sismos de distintas magnitudes, mecanismos focales, ó rupturas de diferente duración (segundos, días ó meses).

Las inversiones GPS de distribución de dislocaciones de algunos SSE recientes muestran que dichos deslizamientos pueden llegar a propagarse hasta la porción sismogénica de la brecha de Guerrero de la ZSM. Debido a esto, la ocurrencia de los SSEs podría estar relacionada con la ruptura de grandes sismos de subducción subsecuentes en esta región. En este trabajo se estudian, con base en inversiones de deslizamientos, las relaciones espacio-temporales de esfuerzos entre grandes sismos de subducción ( $M > 6.9$ ), dos SSE recientes (2006 y 2009-2010), y la generación de sismos repetitivos recientes cerca de la trinchera de la ZSM. Los resultados muestran importantes relaciones entre sismos de subducción, SSEs y sismos repetitivos.

#### ***ABSTRACT***

In Mexico, the Mexican Subduction Zone (MSZ) generates the largest and potentially most damaging earthquakes in the region. Besides the inter-plate and intra-plate earthquakes in the MSZ, five large Slow Slip Events (SSE,  $M > 7.3$ ) have been observed in the last 16 years based on recent GPS data. Additionally, analysis of the seismic waveforms from the past 15 years have revealed a significant number of repeating earthquakes sequences whose rupture areas, location and focal mechanism are nearly identical. Earthquakes in clustered sequences usually present important spatiotemporal relationships. This relation can be expressed in terms of the

underground stress transfer and might occur among earthquakes of different magnitudes, focal mechanisms, or different types and slip durations (seconds, days or months).

Inversions from GPS data for slip distributions, from some recent SSE, show that their rupture area may propagate to the up-dip portion of the Guerrero seismic gap in the MSZ. Because of this, the occurrence of the SSEs may be related with the rupture of subsequent large subduction earthquakes in this region. Based on the slip inversions, here we study the spatio-temporal stress relations among large subduction earthquakes ( $M > 6.9$ ) and two recent SSE (2006 and 2009-2010), together with different sequences of repetitive earthquakes near the trench of the MZS. Results suggest strong correlation among subduction earthquakes, SSEs and repetitive earthquakes.



## Un método popperiano para la inversión de falla finita *A Popperian approach to extended fault inversion*

D. Stich<sup>(1,2)</sup>, J. A. López Comino<sup>(1,3)</sup>, J. Morales<sup>(1,2)</sup> and A. M.G. Ferreira<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain

<sup>(2)</sup> Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain

<sup>(3)</sup> GFZ German Research Centre for Geosciences, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Germany

<sup>(4)</sup> Department of Earth Sciences, Faculty of Maths & Physical Sciences, University College London, WC1E6BT, UK

stich@ugr.es

### **RESUMEN/RESUMO**

Inversiones de la distribución de slip en terremotos proporcionan modelos detallados de las fuentes sísmicas, pero la estabilidad y la no unicidad de estas inversiones es una preocupación importante. El núcleo del problema es que distribuciones de slip bastante diferentes pueden traducirse en sismogramas muy similares. Esta asimetría sugiere abordar el problema a través de una estrategia popperiana: Generamos un gran conjunto de mapas de slip asumiendo una función de autocorrelación von Karman, calculamos sus correspondientes predicciones sintéticas, y a continuación podemos falsificar aquellos modelos que no reproducen los datos dentro de un nivel razonable de desajuste. Los modelos restantes forman un conjunto de soluciones coiguales del problema inverso, y pueden ser examinados para detectar posibles ambigüedades. El método permite combinar diferentes tipos de datos y flexibilidad total en los criterios de ajuste. Mostramos una aplicación a ondas internas teleísmicas del terremoto de Nicoya 2012 (Costa Rica).

### **ABSTRACT**

Inversions for the full slip distribution of earthquakes provide detailed models of earthquake sources, but stability and non-uniqueness of the inversions is a major concern. The core of the problem is that significantly different slip distributions may translate to fairly similar seismograms. This asymmetry suggests approaching the problem through a popperian strategy: We generate a large set of trial slipmaps assuming a von Karman autocorrelation function, compute their forward predictions and then falsify models that do not reproduce the data within a reasonable level of mismodelling. The remaining models form a set of coequal solutions of the inverse problem, and can be screened for potential ambiguities. The approach allows for the inclusion of different data and full flexibility of the misfit measure. We show an application to teleseismic body waves from the 2012 Nicoya earthquake (Costa Rica).

## **Relocalización hipocentral con un nuevo modelo 3D de velocidad de la corteza para el suroeste de Iberia basado en perfiles sísmicos de reflexión y refracción**

### ***Hypocentral relocation with a new 3D crustal velocity model for SW Iberia based on seismic reflexion and refraction profiles***

**L. Lozano<sup>(1)</sup>, J. Cantavella<sup>(1)</sup>, J. Barco<sup>(1)</sup>, C. González<sup>(1)</sup>, M. Carranza<sup>(2)</sup> and E. Buforn<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto Geográfico Nacional, c/ General Ibáñez Ibero, 3, Madrid

<sup>(2)</sup>Universidad Complutense de Madrid

lllopezdemedrano@fomento.es

#### ***RESUMEN***

El margen suroeste de la Península Ibérica presenta fuertes heterogeneidades verticales y horizontales en la corteza debido a la transición entre los dominios oceánico y continental que han de ser tenidas en cuenta para mejorar la localización hipocentral de los terremotos de la zona. Por tanto, es claramente necesaria una aproximación 3D para la modelización de la corteza. Dado que las actuales herramientas de localización permiten la implementación de *grids* tridimensionales para realizar localizaciones no lineales, nuestro objetivo es generar un modelo 3D de velocidad de la onda P para la corteza y parte superior del manto para relocalizar terremotos representativos de la zona. El modelo se ha obtenido a partir de un conjunto de datos de velocidad-profundidad extraídos directamente de los modelos 1D y 2D de velocidad disponibles publicados en perfiles sísmicos de reflexión/refracción de gran ángulo realizados en los últimos 40 años. Se ha aplicado el común método de *kriging* para interpolar un mapa de profundidad del Moho y la distribución 3D de velocidad. Se está realizando la relocalización hipocentral de varios terremotos de magnitud moderada ocurridos en el Golfo de Cádiz y zonas adyacentes con el programa de localización *NonLinLoc* y el nuevo modelo tridimensional. Este modelo se implementará en el sistema *SeisComp3* de la Red Sísmica Nacional para la relocalización rutinaria manual de la sismicidad de la región.

#### ***ABSTRACT***

The SW Iberian margin presents large vertical and horizontal heterogeneities within the crust due to the ocean to continent transition that must be taken into account to improve earthquake hypocentral locations. Thus, a 3D approach for crustal modelling is clearly required. Since currently seismic location tools allow the implementation of three-dimension grid structures for non-linear earthquake location, we aim to generate a 3D P-wave velocity model for the crust and upper

mantle to relocate representative earthquakes of the area. The model has been obtained using a velocity-depth dataset retrieved from available published 1D and 2D velocity models of wide-angle reflection/refraction profiles performed in the last 40 years. Ordinary krigging method was applied to interpolate a Moho depth map and the 3D velocity distribution. Relocations of several moderate earthquakes occurred in the Gulf of Cadiz and adjacent areas are being performed with the new 3D model using *NonLinLoc* location program. This model will be implemented into *SeisComP3* software in the Spanish Seismic Network for the routine relocation of the seismicity of the area.

## **Detección del daño en estructuras mediante la variabilidad de las frecuencias modales**

### ***Structural damage detection by modal frequencies variability***

**J.O. Caselles<sup>(1)</sup>, S. Carolina<sup>(1)</sup>, A. Martín<sup>(1)</sup>, S.A. SDíaz-Alvarado<sup>(2)</sup>, J. Clapes<sup>(1)</sup> and L.G. Pujades<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). Barcelona. Jordi Girona 1-3, D2, 08034 Barcelona. España.

<sup>(2)</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), México. Actualmente: DECA- ETCG, UPC Barcelona Tech. Jordi Girona 1-3, D2, 08034 Barcelona, España.

oriol.caselles@upc.edu

#### ***RESUMEN/RESUMO***

Una característica importante para el cálculo del riesgo sísmico, especialmente en estructuras históricas, es la evaluación de su estado de conservación. Un posible indicador de este es el grado de no linealidad que presentan las estructuras. Como mayor es el daño mayor es la no linealidad y mayor es el grado de libertad que presentan las frecuencias modales con la temperatura. El Laboratorio de Geofísica de la UPC ha estudiado el comportamiento dinámico de diferentes estructuras reales de mampostería y hormigón armado y un modelo a escala de una estructura metálica.

Se ha observado que el comportamiento no lineal de las estructuras varía fuertemente con su tipología y en el caso del modelo metálico se ha podido correlacionar la variación de las frecuencias modales con el índice de daño y la temperatura.

#### ***ABSTRACT***

An important characteristic for seismic risk analysis, specially for historical structures, is evaluate its damage index. A possible index of it is the non-linearity behavior of structures. As higher as the damage rate higher the non-linearity and, higher is the freedom degree of the modal frequencies with the temperature. UPC Geophysical Laboratory has studied the dynamic behavior of different real structures of masonry and reinforced concrete and a reduced frame steal scale model.

The main conclusion arose from the study is that the typology is the most important factor in non-linear compartment. In the frame steal scale model the correlation between modal frequencies variations and the damage and temperature has been obtained.

## **Análisis del impacto de modelos y datos nuevos sobre fallas en la peligrosidad sísmica**

### ***Analysis of the impact of updated data and modeling approaches in seismic hazard***

**J. M. Gaspar-Escribano<sup>(1)</sup>, S. Ruiz Barajas<sup>(1)</sup>, A. Staller<sup>(1)</sup>, M. Belén Benito<sup>(1)</sup>  
and L. E. Quirós<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de Madrid, ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía,  
c/ Mercator 2, Madrid, Spain

jorge.gaspar@upm.es

#### ***RESUMEN***

El objeto de este trabajo es estudiar el impacto del uso de diferentes modelos de fuente sísmica y de datos relativamente nuevos sobre los resultados de peligrosidad sísmica. Se consideran dos métodos para separar la sismicidad asignada a fallas y zonas de sismicidad uniformemente distribuida. El primero se basa en la repartición de la sismicidad de acuerdo con el valor de magnitud. Los terremotos grandes ocurren en fuentes tipo fallas y responden a un modelo de recurrencia del terremoto característico. La sismicidad restante se asocia a la zona, modelizada mediante un modelo de Gutenberg-Richter modificado. El segundo método reparte el potencial sísmico entre zonas y fallas según la distribución de tasa de momento sísmico de las diferentes fuentes dentro del intervalo de magnitudes en el que el catálogo es completo. En este caso, todas las fuentes son representadas por un modelo de recurrencia de Gutenberg-Richter modificado. Se realiza una aplicación en Murcia, por ser una de las más activas de España y en la que hay disponibilidad de datos de deformación de fallas obtenidos a partir de estudios paleosismológicos y de medidas GPS. Los resultados apuntan a una variabilidad significativa (un factor x2) en los valores de aceleración máxima del terreno esperada dependiendo de la tasa de deformación de fallas y el modelo de fuente considerado. Los mapas de coeficiente de variación muestran que la variabilidad debida a ambos factores repercute de forma similar en los resultados finales. Este trabajo es parte del proyecto MERISUR (ref. CGL2013-40492-R), Ministerio de Economía y Competitividad.

#### ***ABSTRACT***

The impact of different approaches and new data related to active faults and their inclusion in probabilistic seismic hazard assessment is the subject of this work. Two methods to distribute the seismicity of the study area into faults and area-sources are considered. One is based on the partitioning of the seismicity according to the magnitude value: faults are the sources of events above a certain magnitude level and the remaining seismicity is distributed in area-sources and modelled with a modified Gutenberg-Richter recurrence model. The other one is based on the distribution of

seismicity according to the moment rate distribution observed within the magnitude interval in which the catalog is considered complete. In this case, a modified Gutenberg-Richter exponential frequency-magnitude distribution is used for all types of sources. An application is carried out in Murcia (southeastern Spain), one of the areas with higher seismic hazard in Spain. Data constraints obtained from paleoseismic studies and from deformation rates derived from GPS measurements are used to compute fault slip rates and recurrence periods. The results obtained point to a significant variability of expected peak ground accelerations that can be increased by a factor of 2 in the surroundings of fault sources in some cases. Maps of coefficient of variation indicate that the variability related to the model used to model seismic sources is comparable to variability introduced by the slip rate values. This contribution is part of the MERISUR project (ref. CGL2013-40492-R), with funding from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness.

**Mapas de probabilidad espacial de terremotos basados en la distribución empírica de distancias entre epicentros**  
*Maps of spatial earthquake probability based on the empirical distribution of distances between epicentres*

**Á. González<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra, Campus San Francisco, Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza, España.

Alvaro.Gonzalez@unizar.es

**RESUMEN**

Los terremotos generalmente ocurren cerca de otros previos, así que se suele asumir que la distribución espacial observada de la sismicidad puede extrapolarse al futuro. Pero tal cálculo se puede realizar con diversos modelos (de fuentes sismogénicas o de la densidad espacial de terremotos), que proporcionan diferentes resultados.

Aquí se propone un nuevo método para calcular probabilidades espaciales de terremotos en una región. Carece de parámetros, y se basa únicamente en las localizaciones de terremotos previos y en la distribución empírica de distancias entre ellos. Este procedimiento se prueba primero retrospectivamente con catálogos de terremotos de toda la Tierra, sur de California y la región ibérica. Para la última se usa el catálogo del Instituto Geográfico Nacional, tras cartografiar en detalle su progresiva mejora en magnitud de completitud a lo largo del tiempo.

El *Southern California Earthquake Center* ha probado este método en tiempo casi real durante seis años, siendo esta la primera contribución española al *Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability* ([www.cseptesting.org](http://www.cseptesting.org)). Se calcularon automáticamente mapas diarios de probabilidad espacial de terremotos (para toda la Tierra, California y Pacífico occidental), y su rendimiento se evaluó independientemente conforme nuevos terremotos tenían lugar. Los resultados obtenidos sugieren que para calcular mapas realistas de probabilidad espacial convendría considerar dónde exactamente han ocurrido terremotos previos (incluso los de pequeña magnitud), y la distribución de distancias entre ellos.

**ABSTRACT**

Earthquakes generally occur close to past ones, so it is usually assumed that the observed spatial distribution of seismicity can be extrapolated to the future. But such a calculation can be done with diverse models (of seismogenic sources or spatial earthquake density) which provide different results.



Here, a new method is proposed for calculating spatial probabilities of earthquakes in a region. It has no parameter, and is based solely on the locations of previous earthquakes and on the empirical distribution of distances between them. This procedure is first tested retrospectively with earthquake catalogues of the whole Earth, Southern California and the Iberian region. For the latter, the catalogue of the Spanish National Geographic Institute is used, after mapping in detail its progressive improvement in magnitude of completeness over time.

The Southern California Earthquake Center has tested this method in near-real time during six years, this being the first Spanish contribution to the Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability ([www.cseptesting.org](http://www.cseptesting.org)). Daily maps of spatial earthquake probability were calculated automatically (for the whole Earth, California and western Pacific), and their performance was tested independently as new earthquakes took place. The obtained results suggest that for calculating realistic maps of spatial probability it would be convenient to consider exactly where past earthquakes have occurred (even those with small magnitude), and the distribution of distances between them.

**Ingeniería Sísmica y Teledetección: estimación de la exposición y la vulnerabilidad de Lorca, España, utilizando ortofotos y LiDAR.**  
***Earthquake Engineering and Remote Sensing: exposure and vulnerability assessment in Lorca, Spain, using ortho-photos and LiDAR.***

**J.J. Arranz<sup>(1)</sup>, Y. Torres<sup>(1)</sup>, A. Haghi<sup>(1)</sup>, J. Gaspar<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid.  
Campus Sur, Ctra. Valencia, km 7.5, Madrid.

josejuan.arranz@upm.es

***RESUMEN***

La creación de bases de datos de exposición y vulnerabilidad para análisis de riesgos naturales es un proceso laborioso. Suelen emplearse bases de datos catastrales, que no siempre están actualizadas o completas, y campañas de campo, que generalmente consumen gran cantidad de recursos humanos y económicos, así como tiempo. La comunidad científica se enfrenta al reto de crear y mantener estas bases de datos de manera más rápida y eficiente, dado el elevado ritmo de crecimiento de las ciudades.

En este trabajo presentamos una metodología de elaboración de bases de datos de exposición y vulnerabilidad basada en teledetección, que hemos aplicado en Lorca, España. Hemos detectado los edificios de tres áreas de estudio, y los hemos caracterizado por medio de atributos relacionados con su vulnerabilidad sísmica: altura, superficie y material del tejado. Para ello, hemos analizado ortofotografías y puntos LiDAR del PNOA, empleando algoritmos desarrollados ex profeso. La verificación de los resultados se ha hecho con de matrices de confusión, utilizando como referencia datos tomados en campo.

Los resultados muestran que es posible detectar y caracterizar edificios empleando técnicas de teledetección, para su uso en un estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico. En la detección de la superficie de los edificios obtenemos resultados que exceden el valor real en una media del 9%; en cuanto al atributo altura, lo detectamos correctamente en un 82% de los casos; y el material del tejado, en un 71%.

***ABSTRACT***

The elaboration of exposure and vulnerability databases for natural risks analysis is a cumbersome process. Commonly, cadastre databases are used, but they might not be updated or complete; and field surveys, however they are generally resource and time consuming. Hence, the scientific community is facing the challenge to create and maintain exposure databases in a rapid and efficient manner, given the high growth rate of current cities.

Here we present a methodology for creating exposure and vulnerability databases based on remote sensing, which we have applied in Lorca, Spain. In three study areas, we have detected the buildings and characterized them with vulnerability-related attributes, namely height, area and roof material. To this end, we have analysed ortho-photos and LiDAR points of the Spanish PNOA project, using algorithms specifically developed for this task. Results have been verified through confusion matrices using field data as ground truth.

Results show that it is possible to detect and characterize buildings using remote sensing techniques, to be used in vulnerability and risk analysis. Accuracy measures reveal that the built-up area is overestimated by 9%; the true positive rate of the attribute height is 82%; and 71% for the roof material.

**Características del daño sufrido por edificios patrimoniales de Lorca (España) a causa de los dos terremotos del 11 de Mayo de 2011**  
*Characteristics of the damage suffered by the historical buildings of Lorca (Spain) during the two small earthquakes of May 11th, 2011*

**M. Feriche<sup>(1)</sup>, F. Vidal<sup>(1,2)</sup> and G. Alguacil<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Andalusian Institute of Geophysics, University of Granada, Spain.

<sup>(2)</sup> Department of Theoretical and Cosmos Physics, University of Granada, Spain.

feriche@ugr.es

***RESUMEN/RESUMO***

El 11/05/2011 ocurrieron dos terremotos ( $M_w = 4.6$  y  $5.2$  respectivamente) superficiales (4.2 km) y muy próximos a la ciudad de Lorca. La estación más cercana a los epicentros (4 km) situada en suelo duro en el centro de la ciudad, registró valores de PGA de 0.27g y 0.36g respectivamente. Aunque los valores de Intensidad alcanzados en Lorca fueron de VI y VII (EMS) para cada uno de los sismos, los parámetros de movimiento del suelo tales como Intensidad de Arias, Velocidad Absoluta Acumulada o Intensidad Espectral, sugieren Intensidades locales mayores. Además, los efectos de directividad y la influencia de suelos no consolidados indican diferencias de intensidad sísmica local acordes a la distribución de los daños del terremoto. A pesar de la relativamente baja magnitud del terremoto principal, el nivel de daño de los edificios patrimoniales fue alto y extenso. Se realizó una inspección detallada del daño sufrido por los edificios monumentales (iglesias en su mayoría) a causa de los terremotos. Estos edificios son generalmente de muros de fábrica no reforzada y forjados de madera con bóvedas de ladrillo. Se observaron y estudiaron graves daños estructurales y algún colapso parcial. El mal comportamiento de los edificios históricos se debió a la falta de ductilidad y a la mala conexión estructural entre paredes, suelos y cimentaciones combinado con el elevado peso de los materiales de construcción. Por otra parte, la mayoría de los daños graves en estas estructuras coincidieron con las afectadas por el terremoto anterior. El daño generado por el primer evento aumentó la vulnerabilidad sísmica de estos edificios.

***ABSTRACT***

On May 11th, 2011, two small-sized earthquakes ( $M_w = 4.6$  and  $5.2$ , respectively) with shallow depth (4.2 km) occurred close to northeastern border of Lorca town. The closest strong motion station located on hard soil in the downtown (4 km far away of epicentres) recorded a PGA of 0.27 g and 0.36 g, respectively. The shakes reached an  $I_{max}$  of VI and VII (EMS) in Lorca, but several estimated seismic ground motion parameters such as Arias Intensity, Cumulative Absolute Velocity, Spectral Intensity, suggest higher local intensities. Furthermore, directivity effects and the

influence of unconsolidated soils indicate local seismic intensity differences according to earthquake damage distribution. Despite the relatively low magnitude of the main-shock, the level of damage to the cultural buildings was high and extensive, suggesting possible influence of the precursor quake. A detailed inspection of damage suffered by monumental buildings (mostly churches) by both earthquakes was performed. These historic buildings are typically unreinforced masonry bearing walls with wooden slabs or with masonry vaults. Serious structural damage and some partial collapse were observed and analyzed. Poor performance of Lorca historic buildings were due to poor ductility of the building and poor structural connections between walls, floors, and foundations combined with the very heavy weight and mass of construction materials. Furthermore, most heavy damage occurred on heritage structures affected by the previous shake. Damage generated by the first event increased the seismic vulnerability of these buildings.

## **Microzonificación sísmica de la Ciudad Autónoma de Melilla: correlación entre los resultados obtenidos y la distribución de daños producidos por el terremoto del 25 de enero de 2016 (Mw 6,3)**

### ***Seismic microzonation in the Autonomous City of Melilla: correlation between obtained results and distribution of damages caused by the January 25 (Mw 6.3) 2016, earthquake.***

**López Casado C.**<sup>(1)</sup>, **Garrido J.**<sup>(2)</sup>, **Delgado J.**<sup>(3)</sup>, **Peláez J.A.**<sup>(4)</sup>, **Henares J.**<sup>(4)</sup>, **Marcos, M.J.**<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpt. Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, Spain, clcasado@ugr.es

<sup>(2)</sup> Dpt. Ingeniería Civil, Universidad de Granada, Spain, jega@ugr.es

<sup>(3)</sup> Dpt. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, jose.delgado@ua.es

<sup>(4)</sup> Dpt. Física, Universidad de Jaén, Spain, japelaez@ujaen.es

<sup>(5)</sup> Servicio de Extinción de Incendios, Prevención y Salvamento. Ciudad Autónoma de Melilla, Spain, bomberos@melilla.es

email de contacto: clcasado@ugr.es

#### ***RESUMEN***

Durante el mes de mayo de 2015 se realizó una campaña de medidas de ruido ambiental en la Ciudad Autónoma de Melilla. El tratamiento de estas medidas por la técnica de las razones espectrales entre las componentes horizontales y la vertical nos mostró una clara correlación entre las diferentes formaciones geológicas sobre las que está situada la ciudad y los periodos de amplificación observados en las razones espectrales.

El 25 de enero de 2016, un terremoto de magnitud 6,3 Mw, localizado en el mar de Alborán, enfrente de la bahía de Alhucemas, sacudió la ciudad de Melilla con una intensidad VI (MSK), produciendo numerosos daños no estructurales en diversas zonas de la ciudad. Ese mismo día, parte del equipo de investigadores de la Universidad de Granada que había realizado en mayo de 2015 el estudio de la microzonificación se trasladó de nuevo a la ciudad para seguir realizando medidas de ruido ambiental.

En este trabajo se presenta un análisis preliminar de los resultados obtenidos y su correlación con la distribución de daños que produjo el terremoto del 25 de enero de 2016.

#### ***ABSTRACT***

During the month of May 2015 a seismic ambient noise survey was performed in the Autonomous City of Melilla. Processing of these measures by the H/V spectral

ratio technique has shown a clear correlation between fundamental periods of amplification, observed in the spectral ratios, and the different geological formations on which the city is located.

On January 25, 2016, an earthquake of magnitude 6.3 Mw, located in the Alboran Sea, in front of the bay of Al Hoceima, struck the city of Melilla with an intensity VI (MSK), producing a big amount of non structural damage in several areas of the city. That same day, the team of researchers from the University of Granada which was working in May 2015 moved back to the city to continue to carry out measures of seismic ambiental noise.

In this paper a preliminary analysis of the results and their correlation with the distribution of damage caused by the earthquake of January 25, 2016 are shown.

## **Microzonificación sísmica de la ciudad de Huelva. (ALERTES-RIM). Seismic microzonation of Huelva city (ALERTES-RIM)**

**A. Macau<sup>(1)</sup>, S. Figueras<sup>(1)</sup>, B. Benjumea<sup>(1)</sup>, F.M. Alonso-Chaves<sup>(2)</sup>, R. Puig<sup>(1)</sup>,  
A. Gabàs<sup>(1)</sup>, F. Bellmunt<sup>(1)</sup> y A. Roca<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuic, 08036 Barcelona.

<sup>(2)</sup> Departamento de Geodinàmica y Paleontología, Universidad de Huelva, Bulevar de las Artes y las Ciencias, 21007 Huelva.

Albert.macau@icgc.cat

### ***RESUMEN/RESUMO***

Uno de los objetivos del proyecto ALERTES-RIM es la obtención de la respuesta sísmica en distintos emplazamientos de la ciudad de Huelva para caracterizar los efectos de sitio y obtener un mapa de microzonificación sísmica de la ciudad. En este estudio se presenta el trabajo realizado para cumplir este objetivo y los resultados obtenidos. La recopilación de información previa disponible ha permitido conocer las características geológicas y geotécnicas de la ciudad y planificar las campañas geofísicas consistentes en la aplicación de técnicas de sísmica activa y pasiva. Los resultados obtenidos tras el procesado de los datos geofísicos han permitido obtener la profundidad del basamento rocoso y los perfiles de velocidad de propagación de las ondas de cizalla en las distintas litologías presentes en la ciudad. Esta información ha sido utilizada para definir columnas de suelo representativas de cada zona y calcular su respuesta sísmica. Para la selección de los registros de entrada en roca se han tenido en cuenta los estudios de peligrosidad sísmica de la región y la disponibilidad de registros de distintos sismos percibidos en la ciudad. Los resultados se presentan en forma de mapas de frecuencia fundamental del suelo, incremento de intensidad macrosísmica respecto a la intensidad en roca y espectros de respuesta en aceleración. Éstos se utilizarán también para incluir los efectos de suelo en los mapas regionales de zonas de daño potencial y en los avisos generados por el sistema de alerta temprana desarrollado en el proyecto ALERTES.

### ***ABSTRACT***

One of the targets of the ALERTES-RIM project is the characterization of the seismic soil response in Huelva city in order to perform site effects quantification and microzonation mapping. The work done for the accomplishment of these objectives and the results obtained are presented in this study. The first step consists of gathering the available geological and geotechnical information of the city and planning the geophysical surveys to be conducted, based in the application of active and passive seismic techniques. Results from geophysical data processing have been useful to provide the bedrock depth and also the shear wave velocity profiles in the different lithologies identified in the city. This information has been considered for the soil columns definition and their seismic soil response has been computed. The input motion in bedrock has been selected according the seismic hazard studies



performed in the region and the availability of accelerograms corresponding to earthquakes felt in the city. Results are presented in terms of soil fundamental frequency and macroseismic intensity increment maps. Acceleration response spectra representatives of the different zones are also provided. Results will be used to include site effects in the regional potential damage maps and in the alerts provided by the early warning system developed in the ALERTES project.

## **Análisis temporal de la evolución del riesgo sísmico en España** *Temporal analysis of the evolution of seismic risk in Spain*

**S. Martínez-Cuevas<sup>(1)</sup>, J. M. Gaspar-Escribano<sup>(1)</sup> and M. Valverde Almazán<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de Madrid, ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía,  
c/ Mercator 2, Madrid, Spain

sandra.mcuevas@upm.es

### ***RESUMEN***

La acción producida por fenómenos naturales catastróficos en entornos urbanos conlleva innumerables pérdidas, tanto económicas como humanas, lo que pone de manifiesto el significado del riesgo debido a estos fenómenos. Los terremotos, debido a su aleatoriedad y su complicada predicción exacta son uno de los fenómenos que mayor cantidad de pérdidas ha producido en todo el mundo.

En España residen cerca de 47.000.000 de habitantes, en un área de, aproximadamente, 500.000 km<sup>2</sup>. Cuando no existían los códigos de diseño antisísmico casi 3.000.000 de edificios residenciales fueron construidos, por lo tanto, existe una gran combinación de edificios antiguos que se construyeron sin ningún tipo de código sísmico, con nuevas construcciones que han aplicado el diseño sismorresistente en su estructura, en ciudades situadas en zona sísmicamente activas, que pueden presentar un alto riesgo incluso bajo los efectos de un terremoto moderado.

El trabajo consiste en realizar una estimación del riesgo sísmico de la edificación residencial en los municipios mayores de dos mil habitantes existentes en España, incluyendo con ello a la Península Ibérica, Islas Baleares, Islas Canarias, Ceuta y Melilla, realizando un análisis de su variación en el tiempo, así como una comparación del riesgo sísmico esperado a partir de la creación del nuevo mapa de peligrosidad sísmica (IGN – UPM) y el mapa de peligrosidad vigente en la Norma actual (NCSE, 2002). Además, se determina un segundo estimador de riesgo, de índole económica, que expresa el coste económico de la reparación de daños físicos estimados previamente.

### ***ABSTRACT***

The action produced by catastrophic natural phenomena in urban environments has economic and human losses, which highlights the significance of risk due to these phenomena. Earthquakes, due to randomness and complicated accurate prediction is one of the phenomena with more losses occurred worldwide.

In Spain are living near 47,000,000 inhabitants in an area of approximately 500,000 km<sup>2</sup>. When there were no seismic codes almost 3 million of residential buildings were built, therefore, there is a great combination of old buildings that were built

without any seismic code, with new buildings that have applied the seismic code in its structure, located near areas with high seismic hazard that can present high seismic risk even with a moderate earthquake.

This work consists of a classification of seismic risk, according to the EMS-98, residential building in municipalities with more than two thousand existing inhabitants in Spain, including thereby the Iberian Peninsula, Balearic Islands, Canary Islands, Ceuta and Melilla, analyzing its variation in time, and a comparison of seismic risk expected from the creation of the new seismic hazard map (IGN - UPM) and the current hazard map in the seismic code (NCSE, 2002). In addition, is determined a second estimate of economic risk, which expresses the economic cost of repairing previously damage.

## **Resonancia y daño sísmico en Viña del Mar (Chile)** ***Resonance and earthquake damage in Viña del Mar***

**C. Aranda<sup>(1)</sup>, F. Vidal<sup>(1)</sup>, G. Alguacil<sup>(1)</sup>, I. Valverde-Palacios<sup>(2)</sup> and M. Navarro<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica. Universidad de Granada, Granada (España).

<sup>(2)</sup> Dpto. de. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada, Granada (España).

<sup>(3)</sup> Dpto. de Física Aplicada. Universidad de Almería, Almería (España).

ca.arquitect@gmail.com

### ***RESUMEN***

El 27 de febrero de 2010, un terremoto de magnitud 8,8 se produjo frente a la costa del Pacífico de Chile. La geología subyacente determinó la distribución espacial de la intensidad sísmica en el área urbana de Viña del Mar. La sacudida se amplificó a nivel local, pero no se encontraron grandes diferencias de intensidad en la zona llana de la ciudad (sólo medio grado en la escala EMS) pero si en las colinas de los alrededores (un grado EMS menos). Curiosamente, la mayoría de los edificios bajos no tuvieron daño o fue pequeño, pero si algunos medianos y altos (entre 9 -24 plantas). Esto sugiere que un fenómeno de resonancia suelo-estructura podría haber contribuido al nivel y distribución del daño en edificios. El periodo predominante ( $T_p$ ) calculado a partir de los registros de ruido ambiental (con la técnica HVSR) en 84 puntos regularmente espaciados ( $\Delta \sim 200$  m) en el área llana de la ciudad (en sedimentos cuaternarios) muestra la siguiente distribución: los valores más altos están cerca la traza de la falla Marga-Marga, decreciendo gradualmente en ambos lados y hacia las zonas montañosas. Después del terremoto de 2010, se obtuvieron nuevas relaciones empíricas entre el período fundamental de los edificios ( $T$ ) y su número de plantas ( $N$ ) analizando los registros de ruido ambiental en la azotea de 99 edificios de RC (con  $4 < N < 30$ ). Las relaciones  $T/N$  son diferentes para los edificios con y sin daño, siendo el incremento de  $T$  un indicador del grado de daño. Los períodos de resonancia de los edificios dañados estaban dentro del intervalo de periodos de amplificación del subsuelo en la zona llana de la ciudad.

### ***ABSTRACT***

On February 27, 2010, a magnitude 8.8 earthquake occurred off the Pacific coast of Chile. The underlying geology determined the spatial distribution of seismic intensity in Viña del Mar urban area. The shaking was locally amplified but no major intensity differences were found in the flat area of the city (only a half of degree in EMS scale) but in the surrounding hills (a degree EMS). Interestingly, most of the low-rise buildings remained with small or no damage, while medium-to high-rise buildings (in the 9-24 range) were the most damaged structures in the city. This suggests that a resonance phenomenon soil-structure could have contributed to this feature of the building damage level and spatial distribution. The predominant period ( $T_p$ ) estimates from ambient noise records (with the HVSR

technique) at 84 points regularly spaced ( $\Delta \sim 200$  m) in the plain city area (on Quaternary sediments) show the following distribution: the highest values are nearby Marga Marga fault trace decreasing gradually on both sides and towards the hill areas. A new set of empirical relationship between the building periods (T) and number of storeys (N) were obtained after the 2010 earthquake by using ambient noise measurements on the top of 99 RC buildings (with  $4 < N < 30$ ). T/N relationships for undamaged and damaged buildings were found different, being the increase of T an indicator of the grade of damage. The resonance periods of damaged buildings were into period range amplified most frequently in the subsoils located in the flat area of the city.

## **El Efecto de Direccionalidad en la Evaluación de la Amenaza Sísmica de la Ciudad de México.**

### ***The Directionality Effect in Seismic Hazard Assessment in Mexico City***

**S.A. Díaz-Alvarado<sup>(1)</sup>, L.G. Pujades<sup>(2)</sup>, A.H. Barbat<sup>(3)</sup>, D.A. Hidalgo-Leiva<sup>(4)</sup>, J.O. Caselles<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), México. Actualmente: DECA- ETCG, UPC Barcelona Tech. Jordi Girona 1-3, C1, 08034 Barcelona, España.

<sup>(2)</sup> Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). DECA-ETCG.

<sup>(3)</sup> Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). DECA-MMCE.

<sup>(4)</sup> DECA-ETCG, UPC Barcelona Tech.

sergio.alberto.diaz@upc.edu

### ***RESUMEN***

En esta investigación se analiza la influencia de la direccionalidad de los instrumentos de registro de aceleración sobre la estimación de los parámetros máximos del movimiento del suelo, esto significa que la media geométrica, como medida de la intensidad de un sismo puede diferir para el mismo movimiento de tierra, dependiendo de la orientación del registro. Un procedimiento que considera este efecto desarrollado recientemente, se basa en la media geométrica de los espectros de respuesta de las dos componentes horizontales del registro sísmico girándolas en todos los posibles ángulos de rotación no redundantes y obteniendo así medidas de intensidad independientes de la orientación del sensor para diferentes percentiles. Este proceso se aplica a una extensa base de datos de 1277 acelerogramas registrados entre 1960 y 2014 en la Ciudad de México; los resultados se comparan con los espectros de diseño de la zona de estudio, con la media cuadrática y con la media geométrica sin rotar. Para el caso del percentil 50, se obtiene que las medidas independientes de la dirección de registro son entre un 1% y un 2% mayores que la media geométrica sin rotar, pero la media cuadrática puede superar estas medidas en más del 20%. Resulta pues recomendable para estudios de peligrosidad, usar el percentil 100 de las medidas independientes de la dirección de registro, que, además, sólo son entre un 5% y un 8% mayores. Los espectros de diseño de la norma se relacionan razonablemente bien con las medidas calculadas.

### ***ABSTRACT***

In this research the influence of the directionality of the recorder instruments on the estimation of the maximum ground motions is analyzed; that means that the geometric mean as a measure of ground motion intensity for the same earthquake, depends on the orientation of the recording sensors. A procedure recently developed allowing to take into account this effect is based on the geometrical mean of the response spectra of the two horizontal components; by rotating them in all non-redundant rotation angles, thus obtaining intensity measurements independent of the sensor orientation for different percentiles. This procedure is applied to a database of

1277 accelerograms recorded since 1960 till 2014 in Mexico City. The results are then compared with the design spectra of the studied area, the quadratic mean and the geometrical mean of the unrotated components. For the case of 50th percentile it was obtained that the period dependent and period independent are 1% and 2% respectively greater than the unrotated geometric mean. However, the quadratic mean can exceed these measures and the un-rotated geometric mean by more than 20%. Therefore, it is recommended that hazard assessment studies take into account the 100<sup>th</sup> percentile of the rotated geometrical mean that can be between 5% and 8% higher than the geometrical mean of the as recorded accelerograms. The design spectra and the ones obtained in this study show a reasonably good agreement.

## **Evaluación probabilista de la peligrosidad sísmica en Egipto** ***Probabilistic seismic hazard assessment in Egypt***

**Rashad Sawires<sup>(1)</sup> and José A. Peláez<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Assiut University, Assiut, Egypt

<sup>(2)</sup>Department of Physics, University of Jaén, Jaén, Spain

rashad.sawires@aun.edu.eg, japelaez@ujaen.es

### ***RESUMEN***

Se ha calculado la peligrosidad sísmica para Egipto en términos de la aceleración horizontal máxima (PGA) y la aceleración espectral (SA). Para ello, se ha compilado un catálogo de terremotos actualizado para Egipto y regiones cercanas, abarcando desde el año 2200 a. C. hasta el 2013. Las magnitudes se unificaron utilizando la escala de magnitud momento. También se consideró en esta evaluación un nuevo modelo de fuentes sísmicas a la hora de caracterizar la actividad sísmica en Egipto y su entorno. Los parámetros sísmicos se han calculado específicamente para 35 nuevas fuentes cubriendo el territorio egipcio y el este del Mediterráneo. Además, se estableció un modelo de árbol lógico, para incluir la incertidumbre epistémica, en el que se consideraron el valor de  $b$  y la máxima posible magnitud en la relación de Gutenberg-Richter, y las ecuaciones de predicción del movimiento del suelo consideradas. Se llevó a cabo el cálculo de la peligrosidad sísmica para roca, y para un 10% y 5% de probabilidad de superación en 50 años. Además, se calcularon espectros uniformes de respuesta para las más importantes ciudades, comparándolos con los que aparecen en el actual código de construcción egipcio. Los máximos valores de peligrosidad se observan en el Golfo de Aqaba, específicamente en el entorno de la localización epicentral del terremoto de mayor magnitud registrado, el terremoto de Aqaba (7.2  $M_w$ ) de 22 de Noviembre de 1995. Los valores obtenidos en Nuweiba (localizada en esta región) para la PGA y la SA (0.1 s) son, para un período de retorno de 475 años, 0.29g y 0.74g, respectivamente.

### ***ABSTRACT***

Seismic hazard in terms of mean peak ground acceleration (PGA) and spectral acceleration (SA) values has been computed for Egypt. For this purpose, an updated earthquake catalog, spanning the time period from 2200 B.C. to 2013, has been compiled for Egypt and its surrounding regions. The earthquakes sizes were unified in terms of the moment magnitude scale. A new seismic source model, for the seismic activity in and around Egypt was considered in this new assessment. The seismicity parameters have been specifically computed for 35 seismic sources covering the Egyptian territory and the Eastern Mediterranean region. Moreover, a logic-tree design was setup in order to consider the epistemic uncertainty in the Gutenberg-Richter  $b$ -value, maximum possible magnitude and the selected ground-motion prediction equations. Seismic hazard computations, for rock-site conditions, with 10% and 5% probability of exceedance in 50 years were carried out. In



addition, uniform hazard spectra for the most important and populated cities in Egypt are computed and compared with the most recent Egyptian building code values. The maximum hazard values are observed at the Gulf of Aqaba region, specifically around the epicentral location of the biggest Egyptian recorded earthquake of 22 November 1995 ( $M_w$  7.2) Aqaba earthquake. The obtained seismic hazard values for Nuweiba (located in this region), for mean PGA and SA (0.1-s) are 0.29g and 0.74g, respectively, for a return period of 475 years.

## **Estimación del riesgo sísmico en la ciudad de Villavicencio, Colombia, dentro del programa “Ciudades Sostenibles y Competitivas”.**

### ***Seismic risk assessment of Villavicencio, Colombia, in the frame of the “Sustainable and Competitive Cities” program.***

**Y. Torres<sup>(1)</sup>, S. Martínez-Cuevas<sup>(1)</sup>, B. Benito<sup>(1)</sup>, M. Arroyo<sup>(1)</sup>, M. Valverde<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid. Campus Sur, Ctra. Valencia, km 7.5, Madrid.

y.torres@upm.es

#### ***RESUMEN***

Este trabajo se enmarca en el programa “Ciudades Sostenibles y Competitivas” del BID. Presentamos los resultados preliminares del estudio de riesgo sísmico de la ciudad colombiana de Villavicencio, que se ha realizado en tres fases: (1) análisis de la peligrosidad sísmica, que ha constado de un cálculo probabilista para un periodo de retorno (PR) de 475 años y un cálculo determinista para un escenario sísmico definido a raíz de la desagregación de la peligrosidad probabilista; (2) análisis de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de viviendas convencionales, basada en datos censales y catastrales, y en una campaña de campo para inspección de una muestra de edificios; y (3) estimación del riesgo sísmico correspondiente al escenario determinista definido en la fase 1.

Los resultados preliminares de peligrosidad sísmica probabilista muestran que se espera una aceleración de 150-300 gal en Villavicencio, para un PR de 475 años. El estudio de vulnerabilidad identifica seis tipologías constructivas, predominando los sistemas mixtos de hormigón armado y mampostería de baja calidad. Se han estudiado dos modificadores urbanos de la vulnerabilidad: efecto golpeteo y diferencia de altura entre edificaciones colindantes. En el estudio determinista se ha calculado un escenario de riesgo sísmico para un sismo de Mw 7.0 en una falla situada a 11km del centro de la ciudad. El resultado indica que el 35% de las viviendas quedarían inhabitables, por lo que sería recomendable tomar medidas de refuerzo de edificios para minimizar este escenario de daños en el futuro.

#### ***ABSTRACT***

This research is in the frame of the IDB “Sustainable and Competitive Cities” program. Here we present the preliminary results of the seismic risk study of Villavicencio (Colombia). The study has been structured in 3 phases: (1) seismic hazard analysis, both probabilistic -for 475 year return period (RP)- and deterministic -for a scenario earthquake defined on the basis of the probabilistic seismic hazard disaggregation-; (2) vulnerability analysis of residential buildings based on census and cadaster data, as well as a field campaign to collect building data; and (3) seismic risk estimation corresponding to the scenario earthquake defined in phase 1.

Preliminary results of seismic hazard show that the expected ground motion for Villavicencio ranges from 150 to 300 gal., for a RP of 475 years. The vulnerability study identifies six building typologies and two vulnerability modifiers, namely seismic pounding and different height between adjacent buildings. Low quality mixed structures with reinforced concrete and masonry is the prevalent typology in the study area. In the deterministic study, a seismic risk scenario has been estimated for a Mw 7.0 earthquake associated to a fault located 11km north-east of the city center. The result indicates that about 35% of the dwellings would be uninhabitable, thus it would be recommendable to design building retrofitting measures in order to minimize this damage scenario in the future.

## **Ecuaciones de predicción del movimiento del suelo y de intensidades para la zona Ibero Magrebí.**

### **Ground Motion and Intensity Prediction Equations for the Ibero-Magrebian Area**

**X. Goula<sup>(1)</sup>, I. Rodríguez<sup>(1)</sup>, Y. Colom<sup>(1)</sup> and A. Roca<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuic, 08036 Barcelona

xavier.goula@icgc.cat

#### ***RESUMEN/RESUMO***

Se presenta un análisis de registros de aceleración y de intensidades correspondientes a terremotos de la zona Ibero magrebí (34°-40°N y 12°W-3°E) para el período 2000-2014 con  $M_w \geq 4,5$  ó  $I_e \geq V$ , seleccionados para el estudio de un Sistema de Alerta Temprana en el proyecto ALERTES-RIM. Se han seleccionado 29 sismos con  $M_w$  comprendidas entre 4.1 y 6.2 con registros de acelerómetros y de distintas estaciones de banda ancha operadas en la región por diversas instituciones, así como de datos de intensidad macrosísmica puntuales. Se estudia por separado la atenuación de los valores de PGA, PGV e Intensidad con la distancia epicentral para las zonas situadas al Oeste y al Este del meridiano 5°O. Los valores observados y convertidos se comparan gráficamente con Ecuaciones de Predicción del Movimiento del Suelo (GMPEs) recientemente publicadas. Los resultados de un análisis cualitativo dan lugar a interesantes observaciones de las que destacan: i) importancia de la atenuación anelástica a partir de distintas distancias epicentrales según la zona; ii) el conjunto de valores de PGA y de PGV parece explicarse por distintas GMPEs según los casos; iii) los datos de intensidad observados son coherentes con los datos de intensidad obtenidos a partir de valores de PGA y PGV utilizando relaciones de conversión recientemente publicadas y iv) ecuaciones de predicción de intensidades ya propuestas parecen adaptarse de manera adecuada a los datos de la zona Este, necesitando adaptaciones para la zona Oeste.

#### **ABSTRACT**

It is presented an analysis of acceleration records and macroseismic intensities for earthquakes in the Ibero –Maghrebian area (34°-40°N y 12°W-3°E) in the period of 2000-2014 with  $M_w \geq 4,5$  or  $I_e \geq V$ , which have been selected for the study of an early warning system developed within the ALERTES-RIM project. A number of 29 earthquakes with  $M_w$  between 4.1 and 6.2 recorded on accelerometers and broad band stations operated by different institutions have been considered; macroseismic intensity datapoints for these events have also been analysed.

Attenuation of PGA, PGV and Intensity with epicentral distance have been studied separately for the zones West and East of 5° meridian. Observed and converted values are graphically compared to recently published Ground Motion Prediction Equations (GMPEs). The performed qualitative analysis leads to some interesting

conclusions: i) great importance of anelastic attenuation from different epicentral distances according to the zone considered; ii) PGA and PGV values can be explained by different GMPEs depending of different situations; iii) observed macroseismic intensity values are coherent with those obtained from PGA and PGV values by using recently published conversion relationships; and iv) previously already proposed intensity prediction equations are in good accordance with data of the East zone, while for the West zone they need some further adjustment.

## **ALERTES-SC3: Un prototipo de Sistema de Alerta Sísmica Temprana para la región Ibero-Mogrebí.**

### ***ALERTES: A prototype of Seismic Early Warning System for the Ibero-Maghrebian area.***

**M. López Mesa<sup>(1)</sup>, J. Martín Dávila<sup>(2)</sup>, A. Pazos García<sup>(2)</sup>, J. Gallego Carrasco<sup>(2)</sup>,  
C. Rioja del Río<sup>(3)</sup>, A.Morgado<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup>Sección de Geofísica, Real Observatorio de la Armada, San Fernando

<sup>(2)</sup>Real Observatorio de la Armada de San Fernando

<sup>(3)</sup>Escuela Superior de Ingeniería – Universidad de Cádiz

mireya@roa.es

### ***RESUMEN***

ALERTES-SC3 es un prototipo de sistema de alerta sísmica temprana desarrollado por el ROA para la región Ibero-Mogrebí desde el Cabo de San Vicente hasta Argelia. El prototipo está compuesto por varios módulos, y totalmente integrado en SeisComp3, ofreciendo una alerta sísmica pocos segundos después de las primeras llegadas de la onda P. Actualmente está ejecutándose en tiempo real en período de prueba utilizando las estaciones existentes en la zona de las redes WM, IGN e IMP (Portugal). En este trabajo, se presentan los módulos del sistema, sus principios básicos de funcionamiento y la estadística de los resultados.

### ***ABSTRACT***

ALERTES-SC3 is an earthquake early warning prototype developed by ROA for the Ibero-Maghrebian area from the San Vicente Cape to Algeria. This prototype is composed by several modules, and totally integrated in SeisComp3, providing a seismic alert in few seconds after the first P-wave arrivals. Currently it is running in real time under testing using the stations of WM, IGN and IMP (Portugal) networks. In this work, the modules of the system, its basic operating principles and operating statistics are introduced.

## **Relación entre el Pico Inicial del Desplazamiento y la Ruptura del Terremoto**

### ***Relation between the Initial Peak Displacement and the Rupture of the Earthquake***

**M. Carranza<sup>(1)</sup>, E. Buforn<sup>(1,2)</sup> and A. Zollo<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dept. Geofísica y Meteorología. Facultad CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Complutense s/n, 28040, Madrid (Spain)

<sup>(2)</sup> IGEO, CSIC, Madrid, Spain

<sup>(3)</sup> Dept. Fisica Università Federico II, Naples (Italy)

macarran@ucm.es

#### ***RESUMEN***

Se presenta el estudio de la evolución temporal de  $P_d$  (amplitud del desplazamiento de la onda P) en una ventana de tiempo que se extiende desde 0 hasta 20 segundos. Esta evolución puede utilizarse para distinguir entre terremotos grandes y pequeños, lo que es de una gran importancia para los sistemas de alerta sísmica temprana. Los datos corresponden a terremotos ocurridos en la región Ibero-Mogrebí en el período 2002-2016 con magnitudes comprendidas entre 3.8 y 6.8, registrados en estaciones de banda ancha a distancias epicentrales de hasta 700 km. Se ha extendido la ventana de tiempo evitando la inclusión de la onda S. Los resultados obtenidos muestran que algunos terremotos de esta región tienen un comportamiento complejo. La comparación de la evolución temporal de  $P_d$  con la función de temporal de la fuente sísmica de los mayores terremotos de la base de datos, muestra que los valores anómalos de  $P_d$  pueden explicarse en términos de la complejidad de la fuente.

#### ***ABSTRACT***

We present a study of the temporal evolution of  $P_d$  (displacement amplitude of the P wave) in a time window extended from 0 to 20 seconds. This evolution can be used to distinguish between large and small earthquakes, which is of great importance for earthquake early warning systems. Database is formed by earthquakes occurred in the Ibero-Magrebian region in the period 2002-2016 with magnitudes between 3.8 and 6.8, registered at broadband stations with epicentral distances up to 700 km. We have extended the time window avoiding the inclusion of the S-wave. The result show that some earthquakes in this region have a complex behavior. The comparison of the evolution of  $P_d$  with the source time function of the largest earthquakes in the database shows that anomalous values of  $P_d$  can be explained in terms of the complexity of the source.

**Sistema de Alerta Sísmica Temprana para el SO de la Península Ibérica desarrollado en la plataforma Earthworm**  
*Earthquake Early Warning System for SW Iberian Peninsula developed with Earthworm Platform*

**N. Romeu<sup>(1)</sup>, J.A. Jara<sup>(1)</sup>, Y. Colom<sup>(1)</sup> and A. Roca<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuic, 08036 Barcelona

Nuria.romeu@icgc.cat

***RESUMEN/RESUMO***

La zona marítima del Cabo San Vicente (SV) y el Golfo de Cádiz (GC) se caracterizan por una sismicidad notable; han sido objeto en el pasado de terremotos destructores como el de 1755 (Mw=8.5) o el de 1969 (Mw=7.8). En este estudio se presenta el desarrollo y los resultados preliminares del funcionamiento del prototipo de un Sistema de Alerta Sísmica Temprana (SAST) basado en la plataforma Earthworm (USGS) para el SO de la Península Ibérica en el marco del proyecto ALERTES\_RIM financiado por el MINECO. Las principales funcionalidades del sistema son: la adquisición de datos en tiempo real de las estaciones de banda ancha existentes en el área de estudio, su procesado, su archivo y el monitoreo del sistema que permite la visualización en tiempo real de la Alerta Temprana desde la detección hasta la llegada de las ondas que pueden causar daños. Después del primer año de funcionamiento (Nov2014 a Nov 2015), en la zona de estudio sólo ha ocurrido un terremoto con una magnitud superior a 4. Su localización y magnitud determinadas automáticamente con solo los primeros segundos de las ondas P son satisfactorias comparadas a las determinaciones realizadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Los tiempos útiles, transcurridos entre el momento de la determinación de los parámetros hipocentrales y la llegada de las ondas S son del orden de 10 segundos en la mayoría de ciudades importantes del SO peninsular, lo que conduce a pensar que este prototipo puede ser el embrión de un SAST regional, fiable y eficaz para una amplia región del Sur de Portugal y So de España.

**ABSTRACT**

The maritime area of Cape St. Vincent (SV) and the Gulf of Cadiz (GC) are characterized by a remarkable seismicity; They have been in the past some destructive earthquakes as the 1755, Mw=8.5 or the 1969, Mw=7.8. In this study the development and preliminary results from the operation of an Early Warning System prototype based on Earthworm Platform (USGS) for the SW Iberian Peninsula in the frame of the ALERTES-RIM project financed by MINECO. Main functionalities of the system consist of data acquisition in real time of existing broadband stations in the study area, processing, archiving and monitoring system that allows real-time visualization of early warning from detection until the arrival



of waves that can cause damage. During the first year of operation (November 2014 – November 2015) only one earthquake of magnitude larger than 4 occurred within the study area. The automatic location and magnitude using only the first seconds of the P-wave are satisfactory compared to the determinations of the Instituto Geográfico Nacional (IGN). Useful time from the availability of hypocentral parameters to the arrival of S-waves is about 10 seconds for more major towns of SW Iberian Peninsula. This leads us to think that this prototype may be an important step towards the implementation of a reliable and effective regional Earthquake Early Warning System for a wide region of South Portugal and Southwest Spain.

## **Diseño y desarrollo de un sistema de bajo coste para la alerta sísmica temprana <<in situ>>**

### ***The design and development of a low cost system for “in situ” earthquake early warning***

**Vera-Herrera. Ángel<sup>(1)</sup>, Pazos-García. Antonio<sup>(2)</sup>, Morgado-Estévez. Arturo<sup>(3)</sup> and Rioja-Del-Río. Carlos<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup>Estudiante en el Grado de Ingeniería Informática de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz, angel.veraherrera@mail.uca.es, San Fernando.

<sup>(2)</sup>Sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada, pazos@roa.es, San Fernando.

<sup>(3)</sup>Área de Tecnología y Arquitectura de Computadores de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz, arturo.morgado@uca.es, Puerto Real.

<sup>(4)</sup>Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz, carlos.rioja@uca.es, Puerto Real.

angel.veraherrera@mail.uca.es

### ***RESUMEN***

Con el propósito de alertar de forma temprana y local de la inminente llegada de las ondas destructivas de un seísmo, en el marco del proyecto ALERTES\_RIM se ha desarrollado un prototipo hardware con capacidad de adquisición y datación de datos de movimiento del suelo a partir de sensores de aceleración que, unido a un sistema software autónomo y siguiendo la filosofía de sistemas de alerta sísmica temprana (SAST) como SeisComP, es capaz de detectar y analizar las ondas primarias de un seísmo (no destructivas y primeras en llegar), y determinar de forma temprana un nivel de alerta. El software, ejecutándose bajo Linux en el ordenador de placa reducida de código abierto Raspberry Pi, analiza de forma continua en tiempo real los datos en búsqueda de ondas primarias. Tras la detección, se data el momento de llegada (pick), se filtran los datos, y se analizan los primeros instantes de tiempo para calcular los parámetros Pd, Tc, y sus magnitudes relacionadas, así como la relación señal/ruido. Con estos parámetros y una tabla de decisión, se lanza la alerta mediante un socket, si procede. La novedad se encuentra en el análisis de datos en el momento de su adquisición, antes del empaquetado de la información sísmica (miniSEED), reduciendo el tiempo de generación de la alerta. Además, mantiene la compatibilidad con los SAST actuales mediante el protocolo SeedLink, asegurando su utilidad científica en el ámbito de la geodesia y geofísica. Como conclusión, se ha obtenido un prototipo compatible con sistemas actuales que reduce el tiempo de generación de alertas sísmicas locales y cuyas funcionalidades pueden ampliarse en un futuro.

## ***ABSTRACT***

In order to perform local early warnings of the imminent arrival of the earthquake destructive waves, a hardware prototype was developed under the draft ALERTES\_RIM. It has the capacity to acquire and dating ground motion data from acceleration sensors, and with an autonomous software system that follows the philosophy of current earthquake early warning systems (EEWS) as SeisComP, it is able to detect and analyze the (nondestructive and first to arrive) P-waves to determine a local early alert. The software running on the open source single board computer Raspberry Pi under Linux, and it continuously analyzes real-time data searching P-waves. Upon detection, the arrival time (pick) is dated, the wave is filtered, and the first time moments are analysed to calculate  $P_d$  and  $T_c$  parameters and their related magnitudes, as well as the signal to noise ratio. With these parameters and with a decision table, the alert is transmitted via a socket if necessary. The novelty is the hard-real time data analysis at the moment of acquisition before packaging the seismic data (miniSEED); it reduces the alert generation time and increases the “lead time”. The prototype maintains compatibility with traditional EEWS using SeedLink protocol, and this ensures their scientific usefulness in geodesy and geophysics fields. In conclusion, we have obtained a system that reduces the generation time of the local early earthquake warnings, in addition it is compatible with traditional systems, and its functionality can be extended in the future.

## **Metodología para la estimación de la distribución de escombros producidos por un terremoto en una población.**

### ***Methodology for the estimation of the debris distribution produced by an earthquake in a city.***

**J. M. Gaspar-Escribano<sup>(1)</sup> and S. Martínez Cuevas<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de Madrid, ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía, c/ Mercator 2, Madrid, Spain

jorge.gaspar@upm.es

#### ***RESUMEN***

En este trabajo se plantea una metodología de estimación de la cantidad de escombros que genera un terremoto y de la superficie de la vía pública afectada por la caída de escombros, que sea aplicable a un entorno urbano (no a una edificación individual). Para ello es necesario que las variables utilizadas en los cálculos se puedan evaluar fácilmente a partir de los datos de libre disponibilidad (bases de datos de Catastro o similares). La metodología consta de varias etapas: 1) identificación de tipologías constructivas; 2) caracterización de los diferentes grados de daño registrados en cada tipología constructiva en términos de número de grietas y fisuras localizadas en diferentes zonas de debilidad del edificio; 3) estimación de la superficie de vía pública afectada por caída de escombros en función del daño registrado y de la distancia a la fachada. El diseño de la metodología es lo suficientemente flexible como para ser aplicada en diferentes zonas geográficas, pudiéndose adaptar los parámetros de los modelos considerados en función de las características constructivas de la población considerada. Se realiza una aplicación de esta metodología en la ciudad de Lorca, donde la base de datos generada tras el sismo de 2011 y los estudios posteriores permiten tener una buena base para calibrar el método propuesto. Este trabajo se desarrolla en el marco del proyecto MERISUR (ref. CGL2013-40492-R), plan estatal de I+D+I de Retos de la Sociedad, Ministerio de Economía y Competitividad.

#### ***ABSTRACT***

This work deals with the development of a methodology for the estimation of the amount of debris generated by earthquake-related building damage and the urban areas (sidewalks, roads) affected by debris falling. The goal of the analysis is not the assessment of individual buildings but of the entire urban area exposed. Therefore, the use of variables that can be easily available (or computable) from different public, open databases (such as the cadastral database) is an important requirement for the model development. The method comprises several stages: 1) identification of building typologies; 2) characterization of the different damage degrees in the building typologies considered, in terms of fissures and cracks localised in different

weakness zones of the building; 3) estimation of the public space area where debris is expected to fall, as a function of damage degree and distance to façade. The design of the methodology is flexible enough to be applied in different geographic scenarios, as the input model parameters can be adapted depending on the building characteristics of the area. An application of the methodology in the city of Lorca is performed. This city is selected due to the rich amount of data available gained after the 2011 earthquake and subsequent studies, which should allow the calibration of the method with actual data and observations. This contribution is part of the MERISUR project (ref. CGL2013-40492-R), with funding from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness, national R+D+I program for societal challenges.

## **Frecuencia de los modificadores urbanos de vulnerabilidad sísmica en el terremoto de Lorca 2011**

### ***Frequency of urban seismic vulnerability modifiers in the earthquake of Lorca 2011***

**S. Martínez-Cuevas<sup>(1)</sup>, M.C. Morillo Balsera<sup>(1)</sup>, B. Benito Oterino<sup>(1)</sup>, y J. Cervera<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de Madrid, ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía, c/ Mercator 2, Madrid, Spain

sandra.mcuevas@upm.es

#### ***RESUMEN***

Actualmente, diversos terremotos han puesto de manifiesto la importancia de planificar las ciudades y la gran influencia que tiene el comportamiento de los edificios como consecuencia de los resultados de pérdidas humanas y económicas. Ante la imposibilidad de evitar la ocurrencia de terremotos y de predecirlos con un margen pequeño de tiempo para tomar acciones a corto plazo, la reducción de la vulnerabilidad de los elementos expuestos es la medida más eficaz para prevenir los daños y para evitar el desastre.

El presente trabajo desarrolla una metodología empírica para identificar y caracterizar los modificadores urbanos que determinan una respuesta sísmica irregular de las edificaciones, graduar su relación con el daño tras un terremoto y poder así disminuir la vulnerabilidad sísmica de las ciudades.

El estudio desarrollado en este trabajo se aplica en la ciudad de Lorca, Región de Murcia. Se realiza un trabajo de campo donde se clasifican los edificios según su tipología estructural y sus modificadores urbanísticos. A través de un estudio estadístico se analiza la frecuencia de los modificadores urbanos con el daño de las edificaciones tras el terremoto Lorca de 2011. Previamente se ha hecho una clasificación de los edificios según la clase de suelo en la que se encuentran según el Eurocódigo8 (Navarro et al, 2012). Con los resultados obtenidos se pretende poder incidir en las Normas Urbanísticas de los Planes Generales de Ordenación Urbana de las ciudades que se encuentran en zonas sísmicas.

#### ***ABSTRACT***

Currently, several earthquakes have highlighted the importance of planning the cities and the great influence of the behavior of buildings as a result of the results of human and economic losses. Unable to avoid the occurrence of earthquakes and predict with a small period of time to take actions, reducing the vulnerability of the exposed elements is the most effective way to prevent damage and to avoid disaster measure.

This paper develops an empirical methodology to identify and characterize modifiers which determine an irregular urban seismic response of buildings, graduating its relationship with the damage after an earthquake and so we can reduce the seismic vulnerability of cities.

The study developed in this work is applied at the city of Lorca, Region of Murcia. A field campaign classifies buildings according to their structural typology and urban modifiers. Through a statistical study the frequency of urban modifiers to damage buildings is analyzed after 2011. Previously Lorca earthquake has made a classification of buildings according to the kind of soil in which they are under Eurocódigo8 (Navarro et al, 2012). With the results it is intended to influence the Town Planning Regulations of the General Urban Plans of the cities located in seismic zones.

## **Cálculo directo e inversión del cociente espectral H/V bajo la hipótesis de campo difuso**

### ***Forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption***

**A. García-Jerez<sup>(1,2)</sup>, J. Piña-Flores<sup>(3)</sup>, F. Sánchez-Sesma<sup>(3)</sup>, Francisco Luzón<sup>(1)</sup>, E. Carmona<sup>(2)</sup>, H. Seivane<sup>(1)</sup> and M. Navarro<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Departamento de Química y Física, Universidad de Almería, CP 04120, Almería.

<sup>(2)</sup>Instituto Andaluz de Geofísica, C/ Profesor Clavera, 12, CP 18071, Granada.

<sup>(3)</sup>Instituto de Ingeniería, UNAM, CU, Coyoacán, CP 04510, D.F. México.

agarcia-jerez@ual.es

#### ***RESUMEN***

Desarrollamos y testeamos un programa para el cálculo directo y la inversión del cociente espectral H/V (HVSR) bajo la hipótesis de campo difuso (DFA). Los algoritmos están basados en la recientemente descrita conexión entre el HVSR del ruido sísmico y las funciones de Green elastodinámicas, que se deriva de los fundamentos de la interferometría de ruido ambiental.

El algoritmo permite (1) un cálculo natural de la parte imaginaria de las funciones de Green mediante integrales de contorno en el plano del número de onda complejo y (2) la separación de las contribuciones de las ondas Rayleigh, Love, P-SV y SH. La estabilidad del algoritmo a altas frecuencias es preservada mediante una adaptación del método de ortonormalización de Wang al cálculo de las curvas de dispersión, de las respuestas del medio para ondas superficiales y de las contribuciones de ondas internas. Este código ha sido combinado con varios algoritmos de inversión para conformar una potente herramienta de exploración sísmica pasiva. Se presentan varios ejemplos de su aplicación en estructuras sedimentarias del SE de España.

**AGRADECIMIENTOS:** Esta investigación ha sido subvencionada por el Ministerio de Economía y Competitividad mediante el Proyecto CGL2014-59908 y por la Unión Europea con FEDER.

#### ***ABSTRACT***

We develop and test a computer code for forward calculation of H/V spectral ratio (HVSR) based on the diffuse field assumption (DFA). It takes advantage of the recently stated connection between the HVSR of seismic noise and the elastodynamic Green's function, which arises from the fundamentals of the ambient noise interferometry.

The algorithm allows for (1) a natural calculation of the Green's functions imaginary parts by using suitable contour integrals in the complex wavenumber plane, and (2) separate calculation of the contributions of Rayleigh, Love, P-SV and SH waves. The



stability of the algorithm at high frequencies is preserved by means of an adaptation of the Wang's orthonormalization method to the calculation of dispersion curves, surface-waves medium responses and contributions of body waves. The code has been combined with several inversion methods to make up a powerful tool for passive seismic surveying. We show several examples of its application for sedimentary structures of SE Spain.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This research has been supported by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness under project CGL2014-59908 and by the European Union with FEDER.

## **Implementación y validación de un registrador sísmico de bajo coste para geófonos verticales.**

### ***Implementation and validation of a low cost seismic recorder for vertical geophones***

**J.L. Soler-Llorens<sup>(1)</sup>, J.J. Galiana-Merino<sup>(2,3)</sup>, P. Jauregui-Eslava<sup>(1)</sup>, S. Rosa-Cintas<sup>(1)</sup>, J. Rosa-Herranz<sup>(2,3)</sup>, J. Giner-Caturla<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Dpto. Earth Sciences and Environment, University of Alicante, P.O. Box 99, E-03080 Alicante, Spain.

<sup>(2)</sup>Dpto. Physics, Systems Engineering and Signal Theory, University of Alicante.

<sup>(3)</sup>University Institute of Physics Applied to Sciences and Technologies, University of Alicante.

jl.soler@ua.es

#### ***RESUMEN***

Las técnicas de adquisición de datos que en las últimas décadas se vienen desarrollando en el campo de la sismología, requieren el uso de sensores y registradores que permitan digitalizar, almacenar y transmitir los datos capturados por los sensores. Para ello existen gran variedad de equipos comerciales, pero estos suelen tener un elevado coste que impide a algunas instituciones adquirirlos para fines de docencia o investigación.

En este artículo se presenta un registrador de bajo coste, implementado utilizando la plataforma electrónica open-source Arduino. El equipo desarrollado permite registrar señales sísmicas adquiridas con un geófono vertical, utilizando un amplificador de instrumentación, un filtro anti-aliasing y el conversor analógico digital que incorpora la placa Arduino Due. Para la configuración y control del equipo se ha programado una interfaz de usuario open-source. El correcto funcionamiento del equipo ha sido verificado mediante el análisis y comparación de señales tomadas simultáneamente con el equipo implementado y dos equipos comerciales: Ras-24 Exploration Seismograph y Data Translation PCI Data Acquisition Board "DT321". Los registros se realizaron utilizando dos tipos de sensores: un geófono Mark L4 de 1Hz y un geófono SN4-10V de 10Hz. Los resultados obtenidos demuestran la capacidad del sistema implementado para el registro de señales sísmicas.

#### ***ABSTRACT***

The seismic data acquisition requires the use of sensors and recorders to digitize, store and transmit data captured by the sensors. There are many commercial equipment that are used to this task but they are usually expensive. Thus, not all institutions can afford to buy these instruments for teaching or research purposes.

In this work, a low-cost seismic recorder has been developed. It has been implemented using the open-source Arduino platform. The equipment developed can

record seismic signals from a vertical geophone. The system employs an instrumentation amplifier, an anti-aliasing filter and the ADC (analog to digital converter) integrated into the Arduino Due board. The configuration and control of the equipment is done using an open-source custom-made user interface. The performance of the system has been verified by acquiring and comparing several records, which were carried out simultaneously with the developed system and two kinds of commercial recording systems: Ras-24 Exploration Seismograph and Data Translation PCI Data Acquisition Board “DT321”. We have also used two kinds of sensors: the Mark L4 1Hz and the SN4-10V10Hz geophones. The obtained results demonstrate the suitability of the developed system to record seismic signals.

## **Análisis de la variación de los esfuerzos estáticos de Coulomb en la crisis sísmica del Golfo de Valencia de 2013**

### ***Analysis of the static Coulomb stress variation in the 2013 Valencia Gulf seismic sequence***

**Lluís Saló<sup>(1,2)</sup>, Tànit Frontera<sup>(1)</sup> and Xavier Goula<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc s/n (08038), Barcelona

<sup>(2)</sup>ETS Enginyers de Camins (Universitat Politècnica de Catalunya), C/ Jordi Girona, 1, 08034 Barcelona

lluissalo@gmail.com

#### ***RESUMEN/RESUMO***

El 24 de septiembre de 2013 ocurrió un sismo de  $M_L$  3.6 cerca de la costa de Castellón, aproximadamente una semana después de parar la inyección de gas que se había realizado para desarrollar un almacén de gas subterráneo. El episodio, sentido por la población cercana, fue el primero de una serie de eventos sentidos que culminaron con un  $M_L$  4.3 el 2 de octubre. Tanto el aumento de presión de poros como los cambios de esfuerzo estático se han relacionado en estudios previos con sismicidad inducida; el primero actúa reduciendo la resistencia al corte de la falla debido a una reducción del esfuerzo normal efectivo actuando en la misma, y el segundo introduce un cambio de esfuerzo en el área que puede llevar a otras fallas con determinadas características a moverse.

Aquí se estudia el papel de la transferencia de los esfuerzos de Coulomb en fallas óptimamente orientadas teniendo en cuenta la orientación del esfuerzo regional. Asimismo, estos cambios de esfuerzo se resuelven en planos de falla específicos, que se han podido modelar a partir de estudios previos en la zona. El análisis se lleva a cabo para toda la secuencia sísmica, con la finalidad de investigar el estado de esfuerzos antes y después de los eventos principales. Los resultados se interpretan junto con la información proporcionada por los datos de localización de 95 episodios sísmicos y mecanismos focales para los 8 episodios de mayor magnitud.

#### ***ABSTRACT***

On the 24<sup>th</sup> September, 2013, a  $M_L$  3.6 earthquake struck near the Spanish coast of Castellon, roughly a week after the gas injections conducted in the area to develop an Underground Gas Storage had been halted. The event, felt by the nearby population, led to a sequence build-up of felt events which reached a maximum of  $M_L$  4.3 on October 2<sup>nd</sup>. Both fluid overpressures and static stress changes have been previously linked with induced seismicity; the first acts by reducing the shear strength of the fault because of a decrease in the effective normal stress acting on it, and the second introduces a stress change in the area which may cause observation faults with determinate characteristics to slip.

Here we study the role of Coulomb stress transfer on optimally oriented faults given a certain regional stress orientation and coefficient of friction. Moreover, Coulomb stress changes are resolved on specific fault planes which have been possible to model from previous studies in the area. The analysis is performed along the whole sequence, to investigate the stress state both before and after the main earthquakes. These results are interpreted in conjunction with information obtained from a located dataset of 95 events and focal mechanism solutions of the 8 strongest events.

## **Proyecto TSUJAL: Nuevos estudios geofísicos en la Placa Rivera y el Bloque de Jalisco (México)**

### ***TSUJAL Project: New geophysical insights across Rivera Plate and Jalisco Block (Mexico)***

**D. Córdoba Barba<sup>(1)</sup>, F. J. Núñez-Cornú<sup>(2)</sup>, J. Dañobeitia<sup>(3)</sup>, W. Bandy<sup>(4)</sup>, M. Ortiz<sup>(5)</sup>, D. Núñez<sup>(2)</sup>, R. Bartolomé<sup>(3)</sup> y G. de trabajo TSUJAL.**

<sup>(1)</sup> Depto. FTAA-I, Facultad de CC Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, (España)

<sup>(2)</sup> Centro de Sismología y Volcanología de Occidente (SisVOc), Centro Universitario de la Costa, Av. Universidad 203, Del. Ixtapa, Puerto Vallarta, Jal. (México)

<sup>(3)</sup> Instituto de Ciencias del Mar (CSIC), Barcelona, (España)

<sup>(4)</sup> Universidad Autónoma de México, (México)

<sup>(5)</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (México)

dcordoba@fis.ucm.es

### ***RESUMEN***

Desde la primavera de 2014 hasta la actualidad, se está llevando a cabo un extenso experimento geofísico mar-tierra en la costa oeste de México titulado “Caracterización del peligro sísmico y tsunamigénico asociado con la estructura cortical del contacto Placa de Rivera-Bloque de Jalisco (TSUJAL)”. Este proyecto es el resultado de una colaboración entre científicos españoles y mexicanos, cuyo principal objetivo es estudiar la estructura litosférica en la zona de colisión entre las Placas Rivera, Norte América y el Bloque de Jalisco, e identificar las estructuras submarinas que potencialmente podrían ser tsunamigénicas.

Este proyecto se está realizando en dos fases: a) *Experimento de Geofísica en mar y en tierra*, donde se adquirieron unos 5200 km de datos de sísmica de reflexión multicanal (MCS), batimetría multihaz y campos potenciales (gravedad y magnetismo entre febrero y marzo de 2014. La fuente sísmica para los datos de sísmica de gran ángulo (WAS) fue proporcionada por el RRS James Cook y apoyado por el ARM Holzinger (SEMAR) y BIO El Puma (UNAM), siendo registrada por 16 OBS y 100 estaciones sísmicas en tierra. Así mismo, se realizaron 3 explosiones subterráneas de 1000 kg cada una, registradas por 100 estaciones sísmicas (1C, 3C) a lo largo de una línea de 200 km desde Guadalajara hasta la costa de Jalisco. b) *Experimento de Sismicidad*: La sismicidad en esta región se está registrando por 11 OBS a lo largo de la costa y por 25 estaciones sísmicas portátiles complementando la Red Sísmica y Acelerométrica de Jalisco (RESAJ) de Abril a Septiembre 2016.

## ***ABSTRACT***

From the spring 2014 to nowadays, we achieved an extensive offshore-onshore geophysical experiment at West Coast of Mexico entitled “Crustal characterization of the Rivera Plate-Jalisco Block boundary and its implications for seismic and tsunami hazard assessment (TSUJAL)”. The project is the result of scientific collaboration between institutions in Mexico and Spain, whose main objective is to study the lithospheric structure at the collision zone between Rivera, North America Plates and the Jalisco Block, and identifying submarine structures, which can potentially be tsunamigenic sources.

This project is being carried out in two phases: a) *Geophysical onshore-offshore experiment* where we acquired around 5200 km of Multichannel Seismic Reflection (MCS), multibeam bathymetry and potential fields (gravity and magnetism) during February and March, 2014. The seismic sources for wide angle seismic (WAS) data were provided by the UK vessel RRS James Cook supported by the ARM Holzinger (Mexican Navy) and RV El Puma (UNAM) and recorded by 16 OBS and 100 land stations. Onland, 3 borehole explosions of 1000 kg each were registered by 100 seismic stations (1C, 3C) in a 200 km length profile from Guadalajara to Jalisco coast. b) *Seismicity Experiment*: A 11 OBS network is currently installed on the Rivera Plate offshore Jalisco Coast and, onland, 25 stations are complementing the RESAJ network (Red Sísmica y Acelerométrica de Jalisco) to study the seismicity from April to September 2016.

**Estudios geofísicos mar-tierra al sur de Bahía Banderas (México):  
Proyecto TSUJAL**  
*Geophysical studies in southern offshore-onshore Bahía de Banderas  
(Mexico): TSUJAL Project*

**Francisco J. Núñez-Cornú<sup>(1)</sup>, Diego Córdoba Barba<sup>(2)</sup>, Juanjo Dañobeitia<sup>(3)</sup>,  
Diana Núñez<sup>(1)</sup>, Elizabeth Trejo Gómez<sup>(1)</sup>, Felipe de Jesús Escalona Alcázar<sup>(1)</sup>  
and Araceli Zamora Camacho<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Centro de Sismología y Volcanología de Occidente (SisVOc), Centro Universitario de la Costa, Av. Universidad 203, Del. Ixtapa, Puerto Vallarta, Jal. (México)

<sup>(2)</sup> Depto. FTAA-I, Facultad de CC Físicas, Universidad Complutense de Madrid

<sup>(3)</sup> Instituto de Ciencias del Mar (CSIC), Barcelona, (España)

pacornu77@gmail.com

**RESUMEN**

Durante la primavera de 2014, dentro del marco del proyecto TSUJAL, se investigó el oeste mexicano con el objetivo de definir la arquitectura cortical del margen activo y conocer las posibles fuentes estructurales que pueden dar lugar a terremotos y tsunamis en la convergencia entre la placa de Rivera (PR) y el Bloque de Jalisco (BJ) con la placa de Norte América (PNA). Para ello, se ha recopilado una amplia base de datos geofísicos tanto en mar como en tierra. Aquí, se presentan los resultados preliminares obtenidos a partir de datos batimétricos, de geología estructural y sísmica de gran ángulo (WAS) en la costa sur de Bahía de Banderas (BB).

El modelo de velocidades de ondas P obtenido proporciona información del espesor del slab, siendo de 10 km con un ángulo de buzamiento de 8°. El espesor de la corteza continental bajo Puerto Vallarta es de unos 20 km, aunque no existen evidencias de Moho continental en este estudio. Este modelo apoya que debido a la convergencia de la PR y el BJ, la región de BB se encuentra bajo fuertes esfuerzos corticales que generan lineamientos estructurales y tienen las mismas direcciones en tierra y en mar con sismicidad asociada. Al sur de la isla de María Cleofas, la Sierra de Cleofas (SC) marca el límite entre la PR y el BJ, siendo posiblemente el resultado del empuje entre ambas estructuras y estableciéndose como comienzo del actual proceso de subducción con actividad sísmica asociada. En este contexto, si un terremoto de tipo subducción ocurriera en SC, cuya longitud es de 100 km, la magnitud asociada sería de unos 7.5 y podría ser de carácter tsunamigénico.

**ABSTRACT**

During the spring of 2014, within the framework of TSUJAL project, the western Mexico was investigated with the aim of defining the crustal architecture of this active margin and recognizing potential structural sources that can trigger



earthquakes and tsunamis at the convergence between Rivera plate (RP) - Jalisco block (JB) with the North American Plate. To achieve these goals, a wide-ranging of geophysical data was acquired in this region both offshore and onshore. In this paper, we present the preliminary results obtained from this project about bathymetric, structural geology and wide-angle seismic (WAS) data of the southern coast of Bahía de Banderas (BB).

A crustal P-wave velocity model was obtained showing the slab thickness is about 10 km and presents a dip angle about  $8^\circ$  in this area. Continental crustal thickness below Puerto Vallarta is about 20 km, no evidence of continental Moho was found in this study. This model support that due to the convergence of RP against JB, the region of BB is under strong crustal stresses that generate structural lineaments and have the same trends offshore and inland with associated seismicity. Southern María Cleofas Island, the Sierra de Cleofas (SC) marks the limit between RP and JB, possibly being the result of the RP against JB push, and where it is established the beginning of current subduction process with seismic activity associated. If a subduction type earthquake occurs in the SC, which is 100 km length, the associated magnitude will be about 7.5 and could be tsunamigenic.

**Imágenes sísmicas de la corteza al sur de las Islas Marías (México):  
Proyecto TSUJAL**

***Seismic images of the crust southern Islas Marías (Mexico): TSUJAL  
Project***

**Diana Núñez<sup>(1)</sup>, Francisco J. Núñez-Cornú<sup>(1)</sup>, Diego Córdoba Barba<sup>(2)</sup>,  
Juanjo Dañobeitia<sup>(3,4)</sup>, Rafael Bartolomé<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Centro de Sismología y Volcanología de Occidente (SisVOc), Centro Universitario de la Costa, Av. Universidad 203, Del. Ixtapa, Puerto Vallarta, Jal. (México)

<sup>(2)</sup> Depto. FTAA-I, Facultad de CC Físicas, Universidad Complutense de Madrid

<sup>(3)</sup> Unidad de Tecnología Marina (CSIC-UTM), Barcelona, (España)

<sup>(4)</sup> Instituto de Ciencias del Mar (CSIC-ICM), Barcelona, (España)

dianane1982@gmail.com

***RESUMEN***

La región occidental de México tiene un elevado interés tanto geológico como tectónico debido principalmente a la interacción de las placas de Rivera - Norteamérica y el Bloque de Jalisco. Para estudiar esta región, se llevó a cabo en 2014 el experimento geofísico TSUJAL, donde se obtuvieron datos de batimetría multihaz, sísmica de reflexión multicanal, sísmica de gran ángulo, campos potenciales (gravimetría y magnetismo) y sísmica de alta resolución.

En el marco de este estudio, se presentan los resultados más significativos de un perfil sísmico profundo mar-tierra de gran ángulo de 220 km, realizado al sur de las Islas Marías con una orientación SW-NE y perpendicular a la costa en dirección hacia Tepic (Nayarit). Este perfil está constituido por una red de 4 OBS y 30 estaciones sísmicas terrestres que registraron los disparos de aire comprimido proporcionados por el RRS James Cook a intervalos de 120 s a lo largo de una línea sísmica marina (RTSIM04) de 110 km de longitud. Los datos obtenidos tras el procesado, análisis e interpretación de este perfil sísmico caracterizan sísmicamente la zona de contacto entre las placas de Rivera y Norteamérica entre los 30 y 60 km de distancia del origen del modelo propuesto en este estudio. Además, se observa un engrosamiento de la corteza hacia el interior de 9 a 20 km. En el manto superior se han obtenido velocidades de 7.9-8.4 km/s hasta una profundidad máxima de 50 km.

***ABSTRACT***

The profound geological and tectonic interest that the Mexican Pacific Margin has is mainly due to the collision zone between Rivera and North American plates and Jalisco Block. This region has been recently studied by the TSUJAL geophysical

experiment in 2014. The main goal of this project is to achieve a better knowledge about this active margin and the seismic and tsunamigenic potential structural sources. To carry out this objective a set of multibeam bathymetric, potential fields, high resolution seismic, MCS and WAS data were obtained.

In the frame of this study, we present the most significant results of wide angle seismic profile RTSIM04 carried out across the southern region of Islas Marías perpendicular to the coast towards Tepic in Nayarit with 220 km of length and SW-NE orientated. This profile is made of by a network of 4 OBS and 30 land seismic stations, deployed specially for this project, which registered the air gun shots provided by RRS James Cook every 120 s. Data obtained after processing and interpretation characterize seismically the contact zone between Rivera and North American plates from 30 to 60 km of model distance. Moreover, a cortical thickening from 9 to 20 km is observed towards to the coast. In the upper mantle, P-wave velocities of 7.9-8.4 km/s up to maximum depth of 50 km have been determined.

## **Imágenes Sísmicas y Batimétricas en la zona de colisión entre la Placa de Rivera con la Placa de Norteamérica y el Bloque de Jalisco. Proyecto Tsujal**

### ***Seismic and Bathymetric Images at the collision zone between Rivera and North American Plates at the Jalisco Block: Tsujal Project***

**Juanjo Dañobeitia<sup>(1,2)</sup>, Rafael Bartolomé<sup>(2)</sup>, Diego Córdoba Barba<sup>(3)</sup>, Francisco J. Núñez-Cornú<sup>(4)</sup>, M. Prada<sup>(5)</sup>, William Bandy<sup>(6)</sup>, F. Estrada<sup>(2)</sup>, A. Cameselle<sup>(2)</sup>, Diana Núñez<sup>(4)</sup>, A. Castellón<sup>(1)</sup>, J.L. Alonso<sup>(1)</sup> Modesto Ortiz<sup>(7)</sup>, and Tsujal WG**

<sup>(1)</sup> Unidad de Tecnología Marina (CSIC-UTM), Barcelona, (España)

<sup>(2)</sup> Instituto de Ciencias del Mar (CSIC-ICM), Barcelona, (España)

<sup>(3)</sup> Depto. FTAA-I, Facultad de CC Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, (España)

<sup>(4)</sup> Centro de Sismología y Volcanología de Occidente (SisVOc), Centro Universitario de la Costa, Av. Universidad 203, Del. Ixtapa, Puerto Vallarta, Jal. (México)

<sup>(5)</sup> Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, Irlanda

<sup>(6)</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, (México)

<sup>(7)</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (México)

jjdanobeitia@utm.csic.es

### ***RESUMEN***

Nuevos registros de sísmica multicanal, coincidente con perfiles sísmicos de gran angular, adquiridos en el marco del proyecto Tsujal nos permiten investigar en detalle la compleja estructura del dominio oceánico, en el segmento más septentrional de la zona de colisión entre las placas de Rivera, de Norteamérica y el bloque de Jalisco. Las imágenes sísmicas muestran un escenario tectónico diferente al Norte de las Islas Tres Marías con estructuras de fallas y *rift* continental. Nuestros resultados muestran un espesor medio de la corteza oceánica de 6-7 km con un aumento moderado hacia el bloque de Jalisco, una anomalía capa gruesa (~ 3,0 km) con una velocidad relativamente baja (~ 5,5 km / s) debajo de María Magdalena buzando hacia el continente, con una profundidad estimada para el Moho superior a los 15 km en la zona de colisión entre la placa de Rivera y Jalisco bloque. También hemos determinado una corteza anómala en el flanco occidental de las Islas Marías, que puede estar relacionado con las fases iniciales de la fractura continental entre la Península de Baja California y México. Datos obtenidos de batimetría de alta resolución muestran grandes cicatrices de más de 40 km<sup>2</sup> de extensión, y depósitos de flujos de masa, en la pendiente continental probablemente provocados por la intensa actividad sísmica en la zona.

### ***ABSTRACT***

New multichannel seismic records, coincident with wide angle seismic profiles, acquired in the framework of the TsuJal project allow us to investigate in detail the complex structure of the oceanic domain in the collision zone between Rivera plate and Block Jalisco at its northern termination. The Rivera plate subducts beneath the North American Plate-Jalisco Block, is clearly observed as a two significant reflections that we interpret as the interplate and Moho discontinuities, ending as far as 21.5°N (just south of Maria Magdalena Island). The seismic images display a different tectonic scenario north of the Tres Marias Islands showing structures that are consistent with large faulting and rifted margin. Our results show an average oceanic crustal thickness of 6-7 km with a moderate increase towards the Jalisco Block, an anomalous thick layers (~ 3,0 km) displaying a relatively low velocity (~ 5,5 km/s) underneath Maria Magdalena Rise, and an estimated Moho depth deeper than 15 km in the collision zone between Rivera plate and Jalisco Block. We have also determined an anomalous crust on the western flank of the Tres Marias Islands, which may be related to the initial phases of continental breakup of the Baja California Peninsula and Mexico mainland. High resolution bathymetry provides remarkable images of intensive slope instabilities marked by relatively large slides scars of more than 40 km<sup>2</sup> extent, and mass wasting deposits probably triggered by the intense seismicity in the area.

**Imágenes Sísmicas de la Subducción de la Placa de Rivera en la zona Sismogénica del Bloque de Jalisco (Margen Oeste Mexicano)**  
*Multichannel Seismic Imaging of the Rivera Plate Subduction at the Seismogenic Jalisco Block Area (Western Mexican Margin)*

Rafael Bartolome<sup>(1)</sup>, Estefanía Górriz<sup>(1)</sup>, Juanjo Dañobeitia<sup>(2)</sup>, Diego Cordoba<sup>(3)</sup>, David Martí<sup>(4)</sup>, Alejandra L. Cameselle<sup>(1)</sup>, Francisco Núñez-Cornú<sup>(5)</sup>, William L. Bandy<sup>(6)</sup>, Carlos A. Mortera-Gutiérrez<sup>(6)</sup>, Diana Nuñez<sup>(5)</sup>, Arturo Castellón<sup>(2)</sup>, Jose Luis Alonso<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Instituto de Ciencias del Mar-CSIC, P. Marítimo de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain

<sup>(2)</sup>Unidad de Tecnología Marina – CSIC, P. Marítimo de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain

<sup>(3)</sup>Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria, Plaza Ciencias, s/n, 28040 Madrid, Spain

<sup>(4)</sup>Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, C/ Lluís Solé Sabaris s/n, Barcelona, 08028 Spain

<sup>(5)</sup>Centro Universitario de la Costa (CUC), Av. Universidad 203, Del. Ixtapa, 48280 Pto. Vallarta, Mexico

<sup>(6)</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.

rafael@cmima.csic.es

**RESUMEN**

Durante la campaña geofísica marina TSUJAL (2014), científicos españoles, mexicanos y británicos exploraron el margen occidental de México, considerado una de las zonas sísmicas más activas de América. Este trabajo caracteriza la estructura interna de la zona de subducción de la placa de Rivera bajo la placa Norte Americana, estudiando la geodinámica y la deformación tectónica reciente y su vinculación con la posible generación de tsunamis y terremotos. Para este fin, se ha llevado a cabo la adquisición, procesado e interpretación geológica de un perfil de sísmica multicanal perpendicular al margen. Las imágenes de la corteza terrestre muestran un dominio oceánico, dominado por la subducción-acreción a lo largo de la pendiente inferior del margen con un espesor de sedimentos subparalela de hasta 1.6 s tiempo doble de viaje (aprox. 2 km) en la Fosa Mesoamericana. Además, a partir de estos datos la región parece ser propensa a la producción de grandes terremotos. La parte superior de la corteza oceánica (reflector intraplaca) está muy bien determinada siendo casi continua con una inclinación suave ( $<10^\circ$ ); sin embargo, se ve interrumpida por una falla normal resultante de la flexión de la placa durante la subducción. La corteza continental presenta un prisma de acreción bien desarrollado compuesto de sedimentos altamente deformados con prominente caída de bloques hacia la fosa, que pueden ser el resultado de terremotos anteriores.

La alta reflectividad en torno a 7-8 s (doble tiempo) muestra claramente una imagen de Moho discontinua definiendo un plano de subducción muy suave.

***ABSTRACT***

During the TSUJAL marine geophysical survey, conducted in February and March 2014 Spanish, Mexican and British scientists and technicians explored the western margin of Mexico, considered one of the most active seismic zones in America. This work aims to characterize the internal structure of the subduction zone of the Rivera plate beneath the North American plate in the offshore part of the Jalisco Block, to link the geodynamic and the recent tectonic deformation occurring there with the possible generation of tsunamis and earthquakes. For this purpose, it has been carried out acquisition, processing and geological interpretation of a multichannel seismic reflection profile running perpendicular to the margin. Crustal images show an oceanic domain, dominated by subduction-accretion along the lower slope of the margin with a subparallel sediment thickness of up to 1.6 s twtt (approx. 2 km) in the Middle American Trench. Further, from these data the region appears to be prone to giant earthquake production. The top of the oceanic crust (intraplate reflector) is very well imaged. It is almost continuous along the profile with a gentle dip ( $<10^\circ$ ); however, it is disrupted by normal faulting resulting from the bending of the plate during subduction. The continental crust presents a well-developed accretionary prism consisting of highly deformed sediments with prominent slumping towards the trench that may be the result of past tsunamis. High amplitude reflections at around 7-8 s twtt clearly image a discontinuous Moho, defining a very gentle dipping subduction plane.



## **Geometría y estructura del contacto entre las litosferas de Iberia y norte de Marruecos con la del domino de Alborán.**

### ***Geometry and structure of the contact between Iberia and Northern Morocco, and the Alboran domain lithospheres***

**F. Mancilla<sup>(1,2)</sup>, G. Booth-Rea<sup>(3,4)</sup>, D. Stich<sup>(1,2)</sup>, J. V. Pérez-Peña<sup>(1,3)</sup>, J. Morales<sup>(1,2)</sup>, J. M. Azañón<sup>(3,4)</sup>, R. Martín<sup>(1)</sup>, F. Giaconia<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, c/Prof. Clavera nº12, 18071, Granada

<sup>(2)</sup> Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, Granada

<sup>(3)</sup> Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Granada.

<sup>(4)</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada

e-mail corresponding author: floris@ugr.es

#### ***RESUMEN***

Obtenemos la geometría de la estructura litosférica en la región del Mediterráneo occidental usando funciones receptoras de onda P. Las imágenes obtenidas migrando estas funciones receptoras revelan la ausencia de raíz orogénica en las Béticas orientales y en gran parte de las Béticas centrales. Sin embargo, en las Béticas occidentales se observa la laja Ibérica de material continental subduciendo por debajo del dominio de Alboran. En esta zona la Moho de la corteza Ibérica esta a ~65 km de profundidad buzando suavemente hacia el SE. En el Rif, existe un fuerte contraste de grosores de corteza y litosfera a ambos lados de la falla de Nekor. Al este de esta falla no existe raíz orogénica y la corteza esta adelgazada teniendo un grosor de ~22 km, mientras que al oeste el grosor de la corteza llega a los 55 km, y la corteza continental Magrebí esta unida a la laja oceánica observada en estudios topográficos por debajo de la cuenca de Alborán. Estos datos sugieren que el proceso de subducción roll-back bajo las cuencas de Alborán y Argelia, junto con la rotura y desprendimiento de la laja continental Ibérica producen delaminación en los bordes bajo las Béticas y el Rif. La laja continental Ibérica esta todavía unida a la laja oceánica observada bajo el mar de Alboran en las Béticas occidentales en la zona donde la sismicidad intermedia puede estar reflejando la ruptura de la laja. Por otro lado, el fallamiento activo y los desplamientos GPS observados marcan la zona de ruptura de la laja bajo el Rif coincidiendo con la falla de Nekor.

#### ***ABSTRACT***

Abstract: We map the geometry of the lithospheric structure under the westernmost Mediterranean convergent setting interpreting P-receiver functions. From the images of migrated P-receiver function, we observe the absence of orogenic root under the eastern and great part of the central Betics. However, the subducted South Iberian



continental lithosphere is found beneath the western Betics where the Iberian Moho reaches depths of ~65 km, dipping gently towards the SE. On the Rif, strong crustal and lithospheric thickness contrasts occur across the Nekor fault. East of the Nekor fault there is no orogenic root and the crust has been thinned to ~22 km, whilst to the west the crust reaches 55 km thickness and the Maghrebian continental lithosphere is attached to the lithospheric slab imaged by tomography under the Alboran basin. These data suggest that subduction rollback under the Alboran and Algerian basins, together with continental slab tearing or detachment produce edge delamination under the Betics and Rif. The Iberian slab is still attached to the oceanic slab imaged under the Alboran basin at the western Betics where intermediate depth seismicity could reflect slab tearing. Meanwhile, active faulting and GPS displacements would mark slab tearing beneath the Rif coinciding with the Nekor fault.

## **Abrupto salto en la Moho bajo las Béticas centrales y orientales, Mediterráneo occidental**

### ***A sharp Moho step under the Central and Eastern Betics, Western Mediterranean region***

**F. Mancilla<sup>(1,2)</sup>, B. Heit<sup>(3)</sup>, J. Morales<sup>(1,2)</sup>, X. Heit<sup>(3)</sup>, A. Molina-Aguilera<sup>(1,2)</sup>, D. Stich<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Granada, Spain

<sup>(2)</sup> Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, Granada, Spain

<sup>(3)</sup> Seismology section, Helmholtz-Zentrum Postdam Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany

florlis@ugr.es

#### ***RESUMEN/RESUMO***

Estudios geofísicos previos en el norte de la región del Mediterráneo occidental mostraron que la corteza del dominio de Alboran cabalga sobre la corteza continental de Iberia bajo el contacto en superficie de las zonas Externas con el dominio de Alboran. En estos trabajos se observa como la corteza de Iberia termina abruptamente y lo relacionan con la ruptura y delaminación de la laja continental Ibérica bajo las béticas centrales y orientales. Para mejor visualizar las variaciones de la estructura litosférica y su variación entre los diferentes dominios geológicos, se han desplegado dos perfiles de ~120 km y ~160 km de longitud. La separación entre estaciones entre 2-3 km permite realizar imágenes de alta resolución de las variaciones de la corteza. Interpretando funciones receptoras de onda P, observamos un brusco salto de la Moho de ~12-17 km bajo las zonas Internas (dominio de Alboran) en ambos perfiles. Las imágenes sugieren que la corteza de Alboran muy deformada cabalga sobre la corteza de Iberia y termina abruptamente bajo el contacto entre el Nevado-Filabre y el Alpujarride. El grosor de la corteza en el punto de ruptura sugiere que la ruptura se produce en la corteza transicional del paleomargen de Iberia.

#### ***ABSTRACT***

Previous geophysical studies in the northern limit of the western Mediterranean region have showed that the Iberian crust understruts the Alboran domain under its contact with the External zones. They observe how the Iberian crust terminates sharply and interpret tearing and delamination of the Iberian slab at central and eastern Betics. To better map the variations of the lithospheric structure between the different geological domains under central and eastern Betics, we deploy two dense seismic profiles (~120 and ~160 km length). The spacing between stations, around 2-3 km, allows mapping with high accuracy variations of the crustal structure. By interpreting P-receiver functions, we observe sharp Moho steps of ~12-17 km

underneath the Internal zones (Alboran domain) at both profiles. The images suggest that the Iberian crust undertrusters the more deformed Alboran crust and terminates sharply under the contact between the Alpujarride and the Nevado-Filabre complexes (Alboran domain). The thickness of the Iberian crust at the edge and its position along the contact suggest that the breaking of the Iberian slab occurs in the transitional crust of the Iberian Paleomargin.

## Física de una antigua pluma del manto

### *Physics of an ancient mantle plume*

**J. Badal**

Physics of the Earth, Sciences B, University of Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain

badal@unizar.es

### **RESUMEN**

A partir de un conjunto integrado de datos geofísicos, se han estudiado varios aspectos relacionados con una antigua pluma del manto en la gran provincia ígnea de Emeishan, suroeste de China, a saber: morfología, estructura de velocidad sísmica, crecimiento vertical de la corteza a través de *underplating* magmático en la base de la corteza, y la actual anomalía de gravedad residual. El análisis incluye la eliminación de efectos gravitatorios enmascarados mediante *gravity stripping* y la obtención de un modelo de anomalía de densidad que se ajusta bien a la anomalía de gravedad residual observada. La densidad invertida en Emeishan, que es  $+0.06 \text{ g/cm}^3$  en la zona interna y decrece hasta  $+0.03 \text{ g/cm}^3$  en la zona externa, revela la estructura en forma de domo de la pluma. Las propiedades del material de la corteza en la zona interna son: alta densidad, elevada velocidad P, elevado cociente de Poisson y gran espesor cortical. La geometría de la corteza obtenida a partir de funciones receptoras y las propiedades corticales sugieren que una capa máfica de 15 a 20 km de espesor y de 150 a 180 km de anchura fue acretada en la base de la corteza en la zona interna, dando así lugar a *underplating* magmático y a un crecimiento vertical de la misma. Utilizando el análisis de varianza de mínimos cuadrados, se propone para esta capa un fuerte contraste de densidad de  $0.2 \text{ g/cm}^3$  (densidad de  $3.14 \text{ g/cm}^3$ ), como evidencia de la corriente ascendente de una pluma del manto Pérmico.

### **ABSTRACT**

Based on an integrated geophysical dataset, several issues concerning an ancient mantle plume in the Emeishan Large Igneous Province (LIP), SW China, have been studied, namely: morphology, the subsurface seismic velocity structure, vertical crustal growth through magmatic underplating at the base of the crust, and the present-day residual gravity anomaly. The analysis includes the removal of masked gravitational effects by gravity stripping and the development of a positive density anomaly model that provides a good fit to the observed residual gravity anomaly. The inverted density in the Emeishan LIP, which is  $+0.06 \text{ g/cm}^3$  in the inner zone and decreases to  $+0.03 \text{ g/cm}^3$  in the outer zone, reveals the dome-shaped structure of the plume. The bulk properties of the crust in the inner zone are: high density, high P-wave velocity, high  $V_p/V_s$  ratio and large crustal thickness. The crustal geometry delineated by the migrated image of receiver functions and the crustal properties

suggest that a mafic layer of 15–20 km thickness and 150–180 km width was accreted at the base of the crust in the inner zone, giving rise to magmatic underplating and vertical crustal growth. Using the least-squares variance analysis, we propose for this layer a strong contrast density of  $0.2 \text{ g/cm}^3$  (density of  $3.14 \text{ g/cm}^3$ ), as evidence of upwelling of a Permian mantle plume.

## **Gravedad, densidad e isostasia en China Central**

### ***Gravity, density and isostasy in Central China***

**J. Badal**

Physics of the Earth, Sciences B, University of Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain

badal@unizar.es

#### ***RESUMEN***

En 2011 se realizó un perfil de gravedad norte-sur, entre Yulin (cuenca de Ordos) y Yuquan (cuenca de Sichuan), lo que permitió reunir datos de gravedad de calidad entre 31°N y 36°N de latitud. La anomalía de Bouguer observada varía entre -200 y -110 mGal. Inicialmente determinamos la estructura de densidad corteza-manto a partir de acreditadas relaciones velocidad sísmica-densidad, y después reconstruimos el campo de gravedad mediante simulación interactiva a partir de los datos de densidad. Nuestro estudio revela un patrón diferente tanto de densidad como de gravedad con respecto a las distintas formaciones tectónicas muestreadas por el perfil. El modelo de densidad muestra valores típicos de la litosfera que describen una formación estratificada y organizada en diferentes bloques a lo largo del perfil. El campo de gravedad calculado por modelado directo a partir del modelo de distribución de la densidad se correlaciona bien con el campo de gravedad observado dentro de una desviación estándar de 1,26 mGal. El análisis del estado isostático de la corteza pone de manifiesto que la corteza no está isostáticamente compensada bajo el Orogeno de Qinling, lo cual sugiere un futuro engrosamiento cortical en conexión con la profundidad del Moho que varía entre 33 y 49 km; si bien es menor bajo las Montañas Qinling y el Graben de Weihe que en las cuencas de Sichuan y Ordos. Basados en el conocimiento adquirido y en el cociente de Poisson, sugerimos la delaminación de la corteza inferior bajo las Montañas Qinling.

#### ***ABSTRACT***

In 2011 we conducted a north-south gravity profile that extended from Yulin in the Ordos Basin up to Yuquan in the Sichuan Basin, and collected a high-quality gravity dataset between 31°N and 36°N of latitude. The observed Bouguer gravity anomaly varies between -200 and -110 mGal. We initially constructed the crust-mantle density structure using accredited velocity-density relationships, for then reconstructing the gravity anomaly field by interactive simulation from density data. Our study reveals a different pattern both of density and Bouguer gravity anomaly with respect to the different tectonic units sampled by the profile. The density model shows typical density values of the lithosphere that depict a layered formation organized in different blocks along the reference profile. The gravity field calculated by forward modeling from the density distribution model correlates well with the measured gravity field within a standard deviation of 1.26 mGal. The analysis of the

isostatic state of the crust reveals that the crust is not isostatically compensated beneath the Middle Qinling Orogen, which suggests future crustal growth, in connection with the Moho depth varying in the 33-49 km range, but is shallower beneath the Qinling Mountains and Weihe Graben than in the Sichuan Basin and Ordos Basin. Based on the acquired knowledge and the Poisson's ratio, we suggest the delamination of the lower crust beneath the Qinling Mountains.

## Utilización de datos sísmicos para detectar automáticamente cambios en el caudal de ríos de montaña

### *Using seismic data for automatic detection of discharge changes in mountain rivers*

**P. Sánchez-Pastor<sup>(1)</sup> and J. Díaz<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto de Ciencias de la Tierra J. Almera, ICTJA-CSIC, Lluís Solé i Sabarís s/n, Barcelona  
psanchez@ictja.csic.es

#### **RESUMEN**

El ruido ambiente es la señal que se registra en las estaciones sísmicas en ausencia de grandes impulsos de energía. Diversidad de fuentes, tanto naturales como artificiales, producen un movimiento continuo del suelo que genera dicho ruido.

La corriente de agua de los ríos actúa como una fuente de ruido sísmico, por lo que mediante medidas en estaciones sísmicas cercanas podemos obtener información sobre ellos. El objetivo de este estudio es ser capaces de monitorizar ríos y poder desarrollar un sistema de alerta para crecidas de caudal utilizando sólo registros de ruido sísmico.

Puesto que existen otras fuentes de ruido que en la señal sísmica no podemos distinguir, analizamos la distribución de la densidad espectral de energía en frecuencia. Comparando esto con datos hidrológicos y meteorológicos, vemos que el viento se registra con una energía comparable a la del río y en una banda de frecuencia similar. Por ello, el objetivo añadido es diferenciar estas dos fuentes de ruido.

Los primeros resultados indican que, analizando en detalle los espectros de energía, podemos detectar cuándo hay una perturbación significativa en la señal debido a la corriente de agua del río y el viento y, además, distinguirlos.

#### **ABSTRACT**

The seismic noise is the registered signal by seismic stations when large impulsive sources are lacking. Variety of sources (natural and artificial) produce a continuously ground motion that generates noise.

The water flow of rivers acts as one of the sources of seismic noise. Thus, we can obtain information about them by nearby seismic stations. Our main aim is to be able to monitor river discharges and to develop warning system using only seismic data.

We cannot discriminate sources of ambient noise in raw signal. To do so, we analyse the distribution of power spectral density in frequency. Comparing with hydrologic and meteorological data, we observe that the wind appear at similar frequency band with comparable energy. Therefore we also discriminate these sources in the spectrum.

Analysing in detail the distribution of energy, the first results indicate that is possible to detect a moderate perturbation due to river and wind and discriminate them.



## **Estudio de la dicotomía hemisférica del núcleo interno de la Tierra a partir de ondas PKIKP y PKiKP**

### ***Study of the Earth's inner core hemispherical dichotomy based on PKIKP and PKiKP waves***

**Laia Silvestre<sup>(1)</sup>, Maurizio Mattesini<sup>(1)</sup> and Elisa Buforn<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, Ciudad Universitaria, Plaza Ciencias, 1, 28040, Madrid, Spain.

laiasilv@ucm.es

#### ***RESUMEN***

Se presenta un estudio para modelar la velocidad de las ondas longitudinales en el núcleo interno de la Tierra, a partir de los tiempos de llegada de las fases PKIKP y PKiKP. La comparación entre los valores teóricos y observados permitirá mejorar los modelos globales de Tierra. Se han seleccionado dos terremotos, uno ocurrido en Colombia (26/04/1999) y otro en Nueva Zelanda (03/09/2010), ambos de magnitud superior a 5.5, con el fin de muestrear los hemisferios este y oeste del núcleo interno. Se ha analizado la diferencia entre los tiempos de llegada de la fase PKIKP y PKiKP, proporcionando información sobre la velocidad de las ondas sísmicas en los primeros 100 km del núcleo interno. Estos residuos temporales se comparan con los valores teóricos obtenidos a partir del modelo de Tierra *ak135*. Y finalmente, el estudio de los residuos relativos permite ajustar la función de la velocidad de las ondas P a cada uno de los dos hemisferios del núcleo interno, pudiendo con ello mejorar la respuesta del modelo teórico de Tierra.

#### ***ABSTRACT***

We hereby present a study that aims to model the longitudinal wave velocity into the Earth's inner core by monitoring the travel time arrivals of PKIKP and PKiKP waves. The comparison between theoretical and observed travel times allows improving the predictive power of the existing Earth's global models. In order to sample both the eastern and the western hemispheres, two earthquakes with a magnitude greater than 5.5 were selected, one occurred in Colombia (26/04/1999) and the other one in New Zealand (03/09/2010). From the study of travel time differences between PKIKP and PKiKP phases, it has been possible to provide important information about the seismic waves velocity in the first 100 km beneath the Earth's inner core. These travel time residuals were then compared with the theoretical values obtained from the *ak135* Earth's model. Finally, from the analysis of relative travel time residuals, a fitting to an *ad hoc* P wave velocity function for both hemispheres has been found, thus managing to improve the response of the selected theoretical Earth's model.

## **Estudio comparativo de subsidencia térmica en pequeñas cuencas oceánicas**

### ***Comparative study of thermal subsidence in small ocean basin***

**Andrea Sierra<sup>(1)</sup>, Manuel Catalán<sup>(2)</sup>, Yasmina M. Martos<sup>(3)</sup> and M. Luisa Osete<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Complutense de Madrid, Fac. de Ciencias Físicas, Ciudad Universitaria, Plaza Ciencias, 1, 28040, Madrid, Spain

<sup>(2)</sup> Real Instituto y Observatorio de la Armada, Cecilio Pujazón, s/n, 11100 San Fernando, Cádiz, Spain

<sup>(3)</sup> British Antarctic Survey (NERC), High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET, United Kingdom

<sup>(4)</sup> Instituto de Geociencias, Dpto. de Física de la Tierra, Fac. de Ciencias Físicas, Ciudad Universitaria, Plaza Ciencias, 1, 28040, Madrid, Spain

[ansier01@ucm.es](mailto:ansier01@ucm.es)

### ***RESUMEN***

La subsidencia describe el progresivo hundimiento de una superficie, generalmente de la litosfera, debido a la contracción térmica de la misma con la edad. Utilizando bases de datos de batimetría, espesor de sedimentos, edades de corteza oceánica y flujo de calor se ha realizado un estudio de subsidencia térmica y flujo de calor de una serie de cuencas oceánicas pequeñas (p.ej.: Mar de Scotia, Caimán, Fiji, Filipinas, Sur de China, Tasmania y Bering). Para ello se han escogido una serie de perfiles perpendiculares a los ejes de expansión oceánicos asociados a cada cuenca seleccionada. En cada uno de estos perfiles se ha aplicado la corrección por carga sedimentaria, obteniendo así la profundidad del basamento corregido. Utilizando esta profundidad de basamento corregido se ha calculado la relación edad-profundidad para cada cuenca, lo cual nos llevará a una relación de flujo de calor. En este trabajo se pretende discutir los patrones de correlación entre las diferentes cuencas estudiadas y la posible obtención de una sola relación de subsidencia para cuencas pequeñas. Además, los valores experimentales en puntos de las cuencas oceánicas del flujo de calor, servirán como indicador de que el modelo seleccionado se ajusta a la realidad.

### ***ABSTRACT***

Subsidence describes the progressive sinking of a surface, usually the lithosphere, due to thermal contraction with the age. By using databases of bathymetry, sediment thickness, age of ocean crust and heat flow, we have made a study of thermal subsidence and heat flow of a series of a small ocean basins (e.g.: Scotia Sea, Caiman, Fiji, Philippines, South China, Tasman, Bering). For this purpose, we have chosen a number of perpendicular profiles to the ocean expansion axes, associated with each selected basin. For each of these profiles we have applied a sediment thickness correction in order to obtain the corrected base depth. By using the

corrected base depth for each basin, the age-depth relation has been determined, which has led to a heat flow relation. The aim of this project is to discuss the correlation patterns between the different analyzed basins, as well as the possibility of obtaining a single subsidence relation for small basins. Furthermore, the experimental results of the heat flow in different points of the oceanic basins prove that the applied model fits the reality.

## **Inversión conjunta de curvas de dispersión de ondas superficiales y funciones receptoras en la región Ibero-Magrebí**

### ***Joint Inversion of surface wave dispersion and receiver functions for the Ibero-Magrebian region***

**Antonio Molina-Aguilera<sup>(1,2)</sup>, Flor de Lis Mancilla<sup>(1,2)</sup> Jordi Julià<sup>(3)</sup> José Morales Soto<sup>(1,2)</sup>, Antonio Villaseñor<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Granada, Spain

<sup>(2)</sup>Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, Granada, Spain

<sup>(3)</sup>Departamento de Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brazil

<sup>(4)</sup>Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Barcelona, Spain

antoniomolina@ugr.es

#### ***RESUMEN***

En este estudio se determinan velocidades de litosfera para la región Ibero-Magrebí usando inversión conjunta de funciones receptoras y velocidades de fase y grupo del modo fundamental de las ondas Rayleigh. El método se aplica a estaciones de banda ancha desplegadas en la Península Ibérica y el Norte de Marruecos, distribuidas con una alta resolución espacial. Las estaciones pertenecen a las redes permanentes española y portuguesa y a las redes temporales (TopoIberia, INDALO y Picasso). Los datos de curvas de dispersión consisten en velocidades de fase y grupo con periodos entre 6 y 35 segundos obtenidos mediante correlación cruzada de ruido ambiental. Los complicados patrones que las funciones receptoras exhiben para algunas estaciones, presumiblemente debido a discontinuidades inclinadas y/o estructuras anisótropas, no permite suponer como aproximación inicial un medio con capas horizontales y anisótropo. Haciendo uso de la característica dependencia azimutal de las funciones receptoras con las discontinuidades con dipping y la anisotropía, se implementa una metodología que mediante un desarrollo en armónicos de las componentes radiales y transversales es capaz de discriminar y eliminar estos efectos. De esta forma, se genera una función receptora independiente del backazimuth que es empleada en la inversión conjunta. La automatización de la método permite su aplicación a grandes redes sísmicas. Así mismo, se obtiene un modelo 3-D de alta resolución en velocidad para la corteza y la parte superior del manto en la región de estudio.

#### ***ABSTRACT***

We estimate lithospheric seismic velocity structure for the Ibero-Magrebian region by jointly inverting receiver functions and fundamental-mode Rayleigh phase and group velocities. The procedure is applied to all the seismic broadband stations deployed over the Iberian Peninsula and North of Morocco, distributed with a dense spatial resolution. The stations belong to the Spanish and Portuguese permanent networks and to temporal experiments (TopoIberia, INDALO and Picasso). Dispersion dataset consists of group

and phase velocities at periods from 6 to 35 seconds obtained from cross-correlations of ambient noise data. The exhibit complicated patterns of the P-receiver functions in some stations presumably affected by dipping boundaries and/or anisotropic structures prevent us to assume as initial approximation a medium with horizontal layers and isotropic. Making use of the characteristic azimuthal dependence of receiver functions with dipping discontinuities and anisotropy, we implement a harmonic expansion methodology to the radial and transversal components able to discriminate and remove these effects. Therefore, we generate a backazimuth independent receiver functions dataset. This is the one used in the joint inversion. This method permits automation and so its application to data from large seismic networks. We obtained a high-resolution 3-D velocity model of the crust and uppermost mantle across the region.