

PROYECTO ISARD: INFORMACIÓN SÍSMICA AUTOMÁTICA REGIONAL DE DAÑOS

X. Goula y equipo de trabajo del proyecto (*)
Institut Geològic de Catalunya (IGC). Balmes 209-211, 08006, Barcelona
x.goula@igc.cat

RESUMEN

El proyecto ISARD es un proyecto parcialmente financiado por fondos FEDER en el marco de acciones *Interreg IIIa Francia- España*. De una duración de 4 años sobre el período 2003-2007, reúne a participantes franceses, españoles y andorranos*.

El objetivo principal del proyecto es obtener informaciones preventivas y operacionales sobre el riesgo sísmico, sin distorsiones debidas al efecto de frontera entre ambos países, con una transmisión eficiente a los servicios de gestión de la crisis sísmica tanto a nivel local como regional.

Estas consideraciones han inspirado la redacción de este proyecto que se interesa a diversos aspectos:

- i) un aspecto preventivo, como es la propuesta de una nueva zonificación sísmica transfronteriza y unificada de la región pirenaica, útil para la aplicación de Normas Sismorresistentes coherentes en ambos lados de la frontera,
- ii) un aspecto cercano a la prevención operacional como es la propuesta de escenarios de daño realistas en dos zonas piloto,
- iii) un aspecto operacional, pues se pretende demostrar la factibilidad de un sistema automático y rápido de estimación de daños inmediatamente después de un terremoto, destinado a los servicios de Protección Civil que deben gestionar la crisis,
- iv) un aspecto educativo e informativo con la realización de una página web trilingüe (castellano, francés y catalán) con informaciones accesibles a los especialistas y a la población en general referente al riesgo sísmico de esta región fronteriza, y la organización de seminarios y presentaciones como la actual.

Se presenta una descripción del proyecto así como una síntesis de los principales resultados obtenidos en los diferentes aspectos, que por otra parte son objeto de presentaciones más detalladas en este mismo Congreso.

Palabras clave: Pirineos, Peligrosidad, Vulnerabilidad, Microzonación, Escenarios sísmicos, Alertas sísmicas.

SUMMARY

The ISARD Project is a project partially financed by FEDER founding through the INTERREG IIIa France- Spain Program. With duration of 4 years, between 2004 and 2007, it gathers different organisations from France, Spain and Andorra*.

The main aim is to obtain preventive and operational information concerning seismic risk, without distortions introduced due to the border effect, with an efficient transmission to the seismic crisis managing services both at local and regional scale.

* Organismos participantes: **IGC** - Institut Geològic de Catalunya; **BRGM** - Bureau de Recherches Géologiques et Minières; **CSTB** - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment; **DGESC** - Direcció General d'Emergències i Seguretat Civil de la Generalitat de Catalunya; **Ajuntament de Puigcerdà**; **CRECIT** - Centre de Recerca en Ciències de la Terra - Institut d'Estudis Andorrans; **GEOTER** y **GeoCat**

These considerations have inspired the development of the project dealing with various aspects:

- i) a preventive aspect, as it is the proposal of a new cross border and unified seismic zonation of the Pyrenees, useful to introduce coherence in the Seismic Codes at both sides of the border,
- ii) an aspect close to the operational prevention, as it is the proposal of realistic damage scenarios for two pilot zones,
- iii) an operational aspect, because it pretends to demonstrate the feasibility of an automatic and rapid system to estimate damages immediately after an earthquake intended for the Civil Defence services that should manage the crisis,
- iv) an educational and informative aspect, with the implementation of a trilingual web site (French, Spanish and Catalan) offering free information to specialists and public in general concerning the seismic risk of the cross-border region and the organization of seminars and presentations like this one.

A description of the project and a synthesis of its main results are presented. A more detailed description of the results is given in other presentations of this same Congress.

Keywords: Pyrenees, Hazard, Vulnerability, Microzonation, Seismic scenarios, Alert System.

Introducción

Tanto para España como para Francia, los Pirineos constituyen una de las zonas más sísmicas de ambos países. La sismicidad histórica y los datos de la tectónica reciente indican claramente un nivel considerable de peligrosidad sísmica.

La única estrategia válida ante el fenómeno sísmico es la prevención, ya que la predicción sísmica no es del todo operacional. Para realizar una prevención eficiente es necesario movilizar diversos medios que van desde la reglamentación en materia de construcción sismorresistente hasta la organización del manejo de la emergencia, en caso de daños importantes, pasando naturalmente por los aspectos educativos de la población.

Uno de los problemas principales de esta estrategia en zonas fronterizas es la falta de armonización de los medios disponibles en cada país, que se pone de manifiesto a diferentes niveles, como a nivel reglamentario por ejemplo, con disposiciones propias a cada país, teniendo como implicación que las obligaciones a considerar sean muy distintas de ambos lados de la frontera, o bien a nivel técnico, con redes de observación y detección sísmica, por ejemplo, propias a cada país y con un diseño inadecuado a la sismicidad situada en los bordes fronterizos de cada país. Finalmente la organización de los medios de auxilio, al final de la cadena, puede sufrir enormemente de la falta de armonización de criterios en el momento que suceda la crisis sísmica.

El desarrollo del proyecto ISARD se ha inspirado en todas esas consideraciones, interesándose en los aspectos preventivos, con la propuesta de una **nueva zonación sísmica transfronteriza y unificada de todo el Pirineo**, que será útil a la aplicación de normas sismorresistentes coherentes a ambos lados de la frontera, o a aspectos más próximos a la prevención operativa, como es el caso del segundo módulo del proyecto, es decir la propuesta de **escenarios realistas de daño sísmico en dos zonas piloto**. El tercer módulo entra de lleno en la gestión operativa de una crisis, pues se trata de demostrar la factibilidad de un **sistema automático y rápido de estimación de daños después de**

producirse un terremoto, destinado esencialmente a los servicios de Protección Civil que deben gestionar la crisis.

El cuarto módulo del proyecto corresponde a los aspectos educativos y de difusión de la información, con la realización de una página **WEB trilingüe (francés, catalán y castellano) con informaciones útiles a la población**, así como la organización de **seminarios** para presentar y debatir los resultados con los diferentes agentes implicados en el tema.

Como acaba de indicarse el proyecto se ha estructurado en cuatro grandes bloques o módulos, interdependientes entre sí. A continuación se describen de manera abreviada con los principales resultados obtenidos. Una descripción más detallada se presenta en diferentes ponencias de este congreso.

Zonación sísmica transfronteriza y unificada de todo el Pirineo

Se ha realizado un Análisis Probabilista de la Peligrosidad Sísmica (PSHA) para la región pirenaica. El estudio estuvo motivado por las incoherencias existentes entre las zonaciones sísmicas de la reglamentación sísmica de los dos países involucrados (Francia y España). También, por la necesidad de definir la peligrosidad sísmica a ser usada en la realización de escenarios de riesgo sísmico. Se ha hecho énfasis en la homogeneización de los datos de entrada tanto sísmicos como geológicos. Esta homogeneización ha conducido a la definición de un catálogo sísmico unificado en función de la magnitud local. Para su realización, se analizaron todas las fuentes de información disponibles en la región y se estructuraron en una base de datos. Un mapa con los epicentros de los terremotos contenidos en el catálogo se muestra en al Figura1.

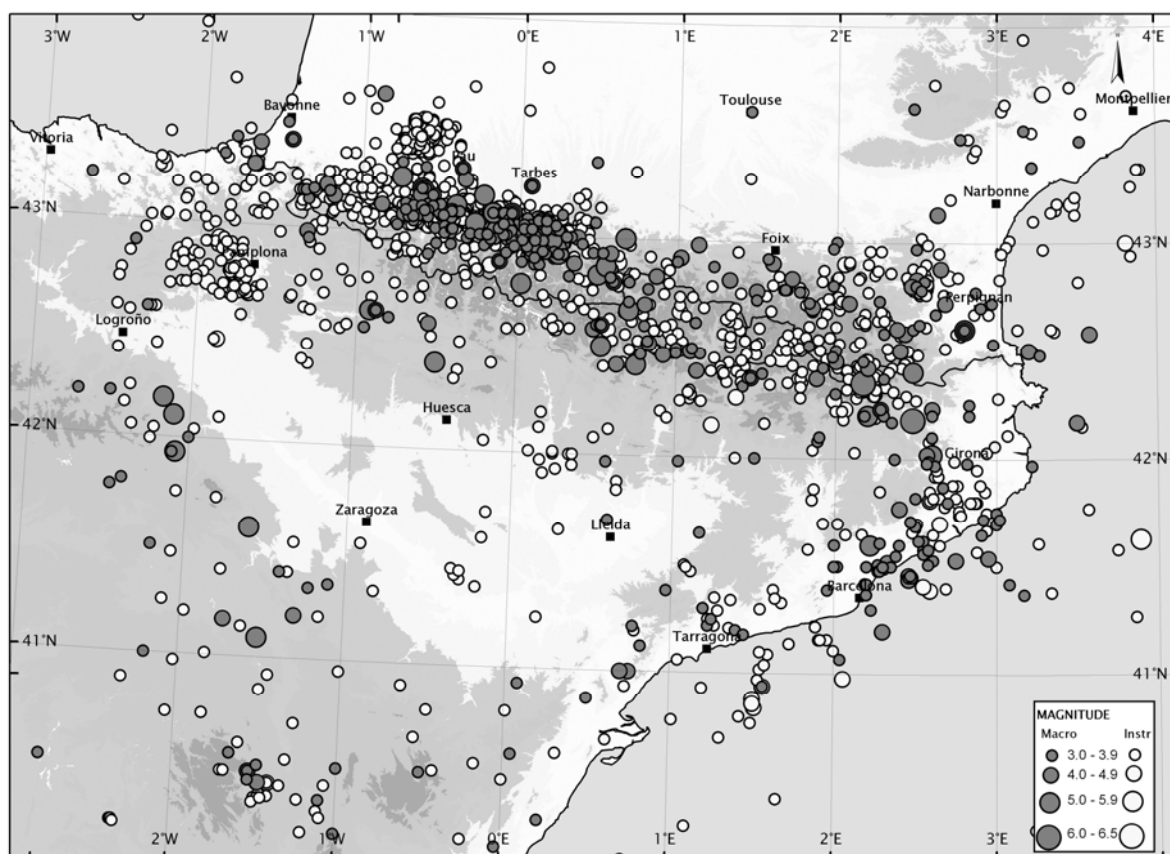


Figura 1. Mapa de los epicentros de los terremotos contenidos en el catálogo unificado ISARD. (Secanell et al., 2007)

Dos zonaciones sismotectónicas fueron definidas para tener en cuenta las distintas interpretaciones existentes entre los expertos. Además de una metodología clásica zonificada para el cálculo de la peligrosidad sísmica, se utilizó también un método no zonificado. Se ha propuesto una nueva ley de atenuación regional basada en los datos de la región (Tapia et al., 2007). Esta ley de atenuación ha sido utilizada junto con otras leyes de atenuación europeas para evaluar la peligrosidad sísmica de la región pirenaica.

Finalmente, se ha aplicado una metodología específica para tener en cuenta las incertidumbres asociadas al PSHA. Esta metodología está basada en un uso conjunto de las técnicas de árbol lógico y Montecarlo, que permiten la propagación de las incertidumbres epistémicas y aleatorias. La aplicación de esta metodología conduce a la definición de mapas de peligrosidad sísmica en términos de aceleración (mediana y percentiles de 15% y 85%). Las aceleraciones del suelo calculadas corresponden a 2 periodos de retorno: 475 y 1975 años, y 6 periodos espectrales: 0, 0.1, 0.3, 0.6, 1 y 2 segundos. Como ejemplo de los resultados obtenidos se muestra en la Figura 2 el mapa de valores de PGA medianos para un período de retorno de 475 años, más los percentiles 15 y 85.

En Secanell et al. (2007) se presenta una descripción detallada de este estudio y se realiza una valoración de los resultados en relación a los mapas de las normas de ambos países, así como una comparación a otros estudios realizados en la zona.

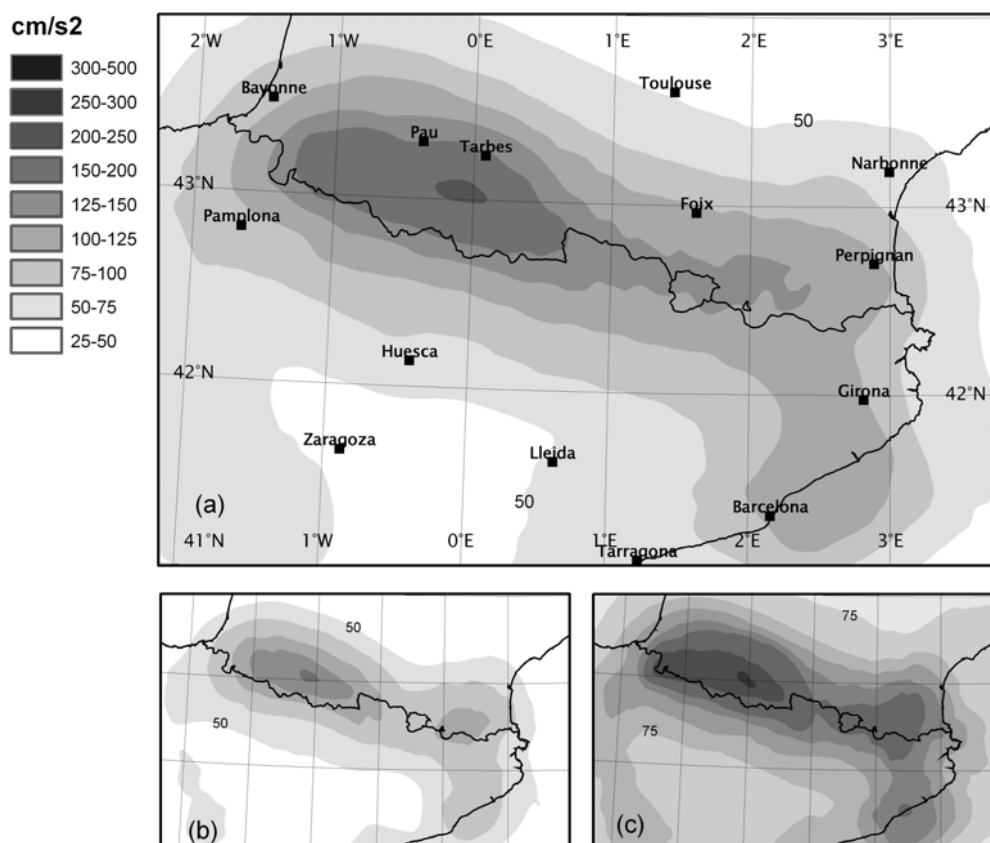


Figura 2. Peligrosidad sísmica de la región pirenaica: a) mapa de valores de PGA medianos para un período de retorno de 475 años; b) mapa de valores de PGA, percentil 15 para el mismo período de

retorno; c) mapa de valores de PGA, percentil 85 para el mismo período de retorno. (Secanell et al., 2007).

Escenarios realistas de daño sísmico en dos zonas piloto.

Se han seleccionado los valles de la Cerdaña y de Andorra la Vella como zonas piloto para el estudio del riesgo sísmico en los Pirineos. La cubeta de Andorra la Vella tiene una fuerte densidad de población, en ella se concentran la mayoría de edificios, infraestructuras y actividad económica del país. Mientras que en la Cerdaña la distribución de la población es más dispersa y repartida en pequeños núcleos urbanos a ambos lados de la frontera franco-española.

Para el estudio del riesgo sísmico se han considerado dos escenarios. Un escenario probabilista con un período de retorno de 475 años, con valores de intensidad de VII y de a_{max} de 0.12g (Secanell et al., 2007) y un escenario determinista definido por un sismo análogo al ocurrido el 2 de Febrero de 1428, con intensidades que varían entre VI-VII en Andorra y VII-VIII en la Cerdaña francesa (Irizarry et al., 2007).

Consideración de los efectos de amplificación de suelos

La cubeta de Andorra la Vella se caracteriza por una geología de valles glaciares con capas delgadas de sedimentos cuaternarios. Por otro lado, los sedimentos que se encuentran en el Valle de la Cerdaña tienen una potencia que puede llegar hasta los 800 metros y su origen es del Mioceno.

Se ha caracterizado el comportamiento del suelo en la Cerdaña y Andorra en términos del espectro de respuesta en aceleraciones y del incremento de intensidad macrosísmica debido al efecto local. Partiendo de los resultados obtenidos se ha realizado una zonación sísmica de las dos regiones agrupando aquellas zonas con un comportamiento sísmico parecido.

Las amplificaciones obtenidas para la cubeta de Andorra la Vella son mayores que las obtenidas para el valle de la Cerdanya. Las frecuencias fundamentales obtenidas para la cubeta de Andorra la Vella varían entre 1.0 y 4.6Hz, mientras que las frecuencias fundamentales para el valle de la Cerdaña varían entre 0.20 y 0.65Hz. En términos del incremento de la intensidad macrosísmica, al considerar los efectos de suelo, los valores obtenidos para la cubeta de Andorra la Vella son mayores que los del valle de la Cerdaña

A partir del escenario probabilista con un periodo de retorno de 475 años y los efectos de sitio calculados en cada región, se ha obtenido un mapa de peligrosidad local para ambas zonas de estudio. Para la cubeta de Andorra la Vella se obtienen aceleraciones máximas de 0.38g e intensidades hasta VIII-IX grados. En el valle de la Cerdaña se han obtenido aceleraciones máximas de 0.19g e intensidades de hasta VIII grados. Por otro lado se ha considerado un escenario sísmico determinista para ambas zonas basado en la posibilidad de que ocurra un evento sísmico similar al sismo de 2 de Febrero de 1428. Tanto en la cubeta de Andorra la Vella como en el valle de la Cerdanya se han obtenido intensidades de hasta VIII-IX para este escenario determinista.

En la Figura 3 se muestra la zonación de la cubeta de Andorra para un escenario determinista (sismo análogo al ocurrido en 1428) en términos de intensidad macrosísmica. La Figura 4 muestra el mapa de peligrosidad sísmica local en el valle de la Cerdaña para un periodo de retorno de 475 años, en términos de espectros de respuesta en aceleración (5% de amortiguamiento) que se muestran en la Figura 5. Una descripción detallada de los

resultados se presenta en Macau et al. (2007). Estos resultados, conjuntamente con las evaluaciones de la vulnerabilidad de los edificios, son utilizados para la evaluación del riesgo sísmico y la realización de escenarios de daños en ambas zonas de estudio.

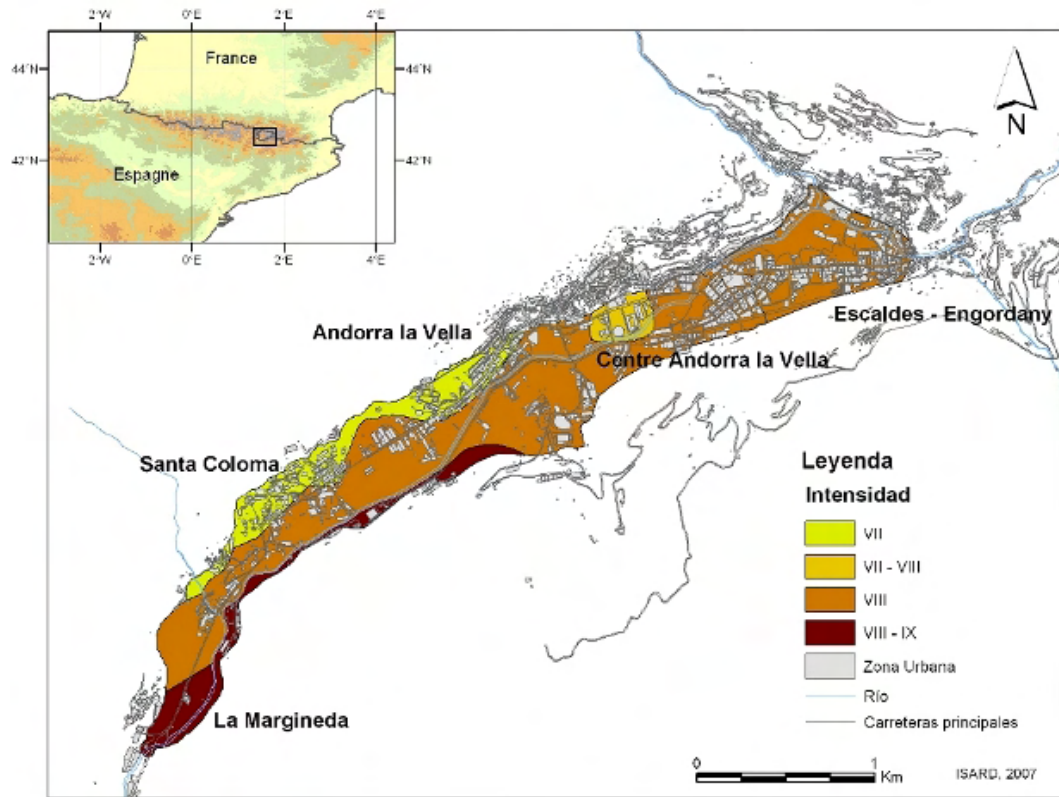


Figura 3. Zonación de la cubeta de Andorra en términos de intensidad macrosísmica para un escenario de tipo determinista (sismo análogo al ocurrido en 1428) (Macau et al., 2007).

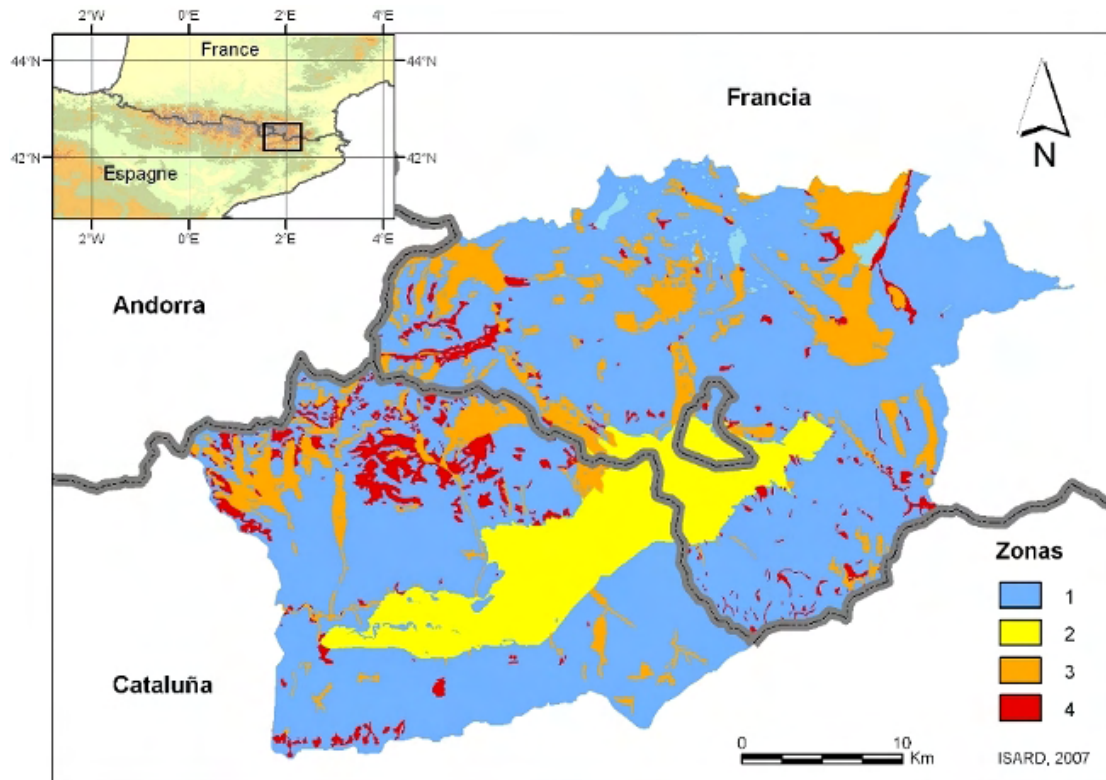


Figura 4. Mapa de peligrosidad sísmica local en el Valle de la Cerdaña, en función de los espectros de respuesta de la aceleración, para un período de retorno de 475 años (Macau et al., 2007).

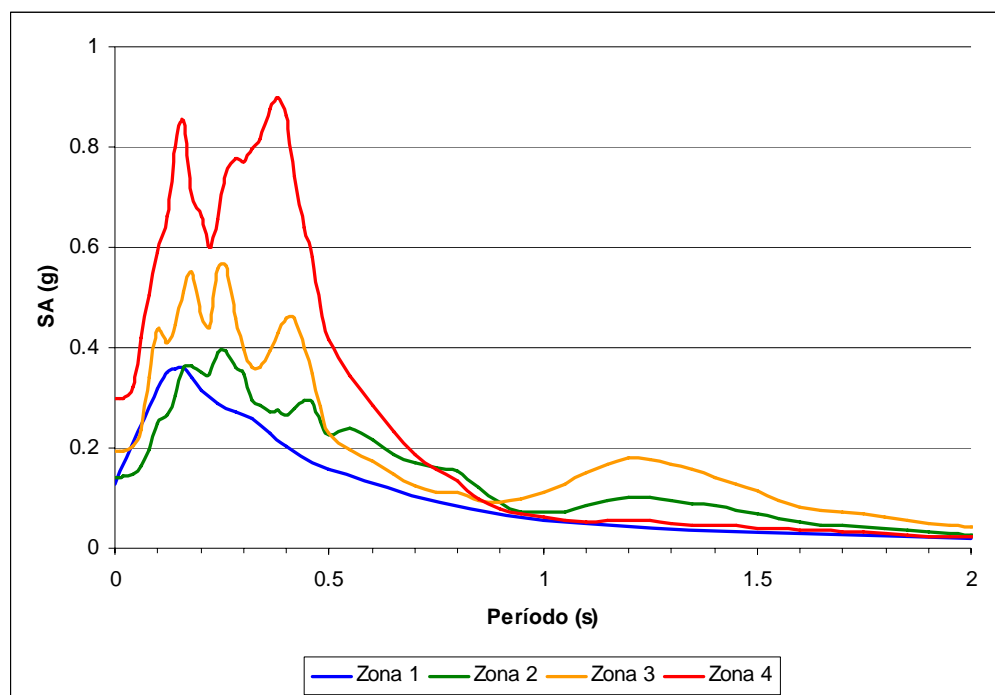


Figura 5. Espectros de respuesta en aceleración (5% de amortiguamiento) para las zonas presentadas en la Figura 4 (Macau et al., 2007).

Escenarios transfronterizos de daño para edificios de vivienda

Para la evaluación de los escenarios de daños para edificios de vivienda se utilizan

dos métodos cada uno asociado a una unidad de trabajo diferente. El primer método, Nivel 0, está basado en las clases de vulnerabilidad y el método de las matrices de probabilidad de daño y se aplica a los municipios de la región sin considerar los efectos de suelos. Corresponde al método usado en el desarrollo del Plan de Emergencias Sísmicas de Cataluña (SISMICAT) (Susagna et al., 2006). El segundo método, Nivel 1, es el método del índice de vulnerabilidad aplicado a las unidades de población identificadas en cada municipio para mejorar la consideración de los efectos de suelos de la región. Se basa, en parte, en la metodología desarrollada en el proyecto RISKUE (Giovinazzi y Lagomarsino, 2004; Mouroux y Lebrun, 2006).

A continuación se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos del desarrollo de los escenarios transfronterizos de daños para la Cerdeña y Andorra. Las metodologías y los resultados de estos escenarios para la Cerdeña y Andorra se exponen en detalle en los trabajos de Irizarry et al. (2007) y González et al. (2007), respectivamente.

La evaluación de la vulnerabilidad de Nivel 0 basada en las clases de vulnerabilidad de la escala EMS-98 (Grünthal, 1998) utilizó una misma distribución de clases de vulnerabilidad (Roca et al., 2006) para toda la zona piloto permitiendo comparar los niveles relativos de vulnerabilidad de las regiones de la zona piloto. Los resultados de vulnerabilidad del Nivel 0 indican que en general la vulnerabilidad de la zona piloto es baja predominando la clase de vulnerabilidad C en toda la región. La Cerdeña española y Andorra poseen una vulnerabilidad similar, que a su vez es ligeramente mayor que la vulnerabilidad presentada por la Cerdeña francesa, pues tanto la Cerdeña española como Andorra presentan porcentajes de edificios asociados a clases de vulnerabilidad A y B que son mayores que los obtenidos para la Cerdeña francesa.

Durante la evaluación de la vulnerabilidad del Nivel 1 mediante el método del índice de vulnerabilidad se desarrolló una distribución de las tipologías estructurales más representativas según número de plantas y año de construcción para cada región de la zona piloto: Cerdeña española, Cerdeña francesa y Andorra. Los resultados de esta metodología indican que la zona piloto en general posee una vulnerabilidad sísmica baja con un índice de vulnerabilidad promedio de 0.6725. El índice de vulnerabilidad promedio obtenido para cada una de las regiones es muy similar aunque al comparar la distribución del índice de vulnerabilidad para cada región se pueden observar diferencias importantes como se muestra en la Figura 6.

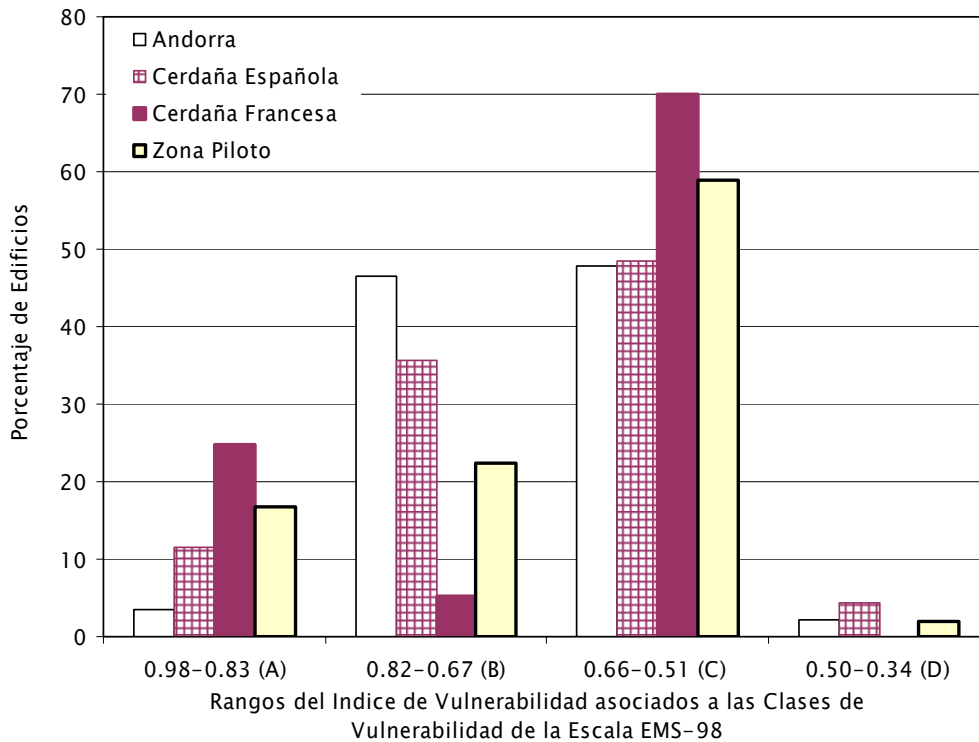


Figura 6. Distribución del índice de vulnerabilidad para la zona piloto y las regiones que la componen.

Las distribuciones de daño obtenidas utilizando el método basado en las clases de vulnerabilidad no incluyen los efectos de suelo mientras que las obtenidas con el método del índice de vulnerabilidad si los incluyen. Por esta razón las distribuciones obtenidas para la Cerdaña con el método del índice de vulnerabilidad presentan daños mayores que las distribuciones de daño basadas en las clases de vulnerabilidad. Para Andorra, las distribuciones de daño obtenidas usando el método basado en las clases de vulnerabilidad son mayores que las obtenidas aplicando el método del índice de vulnerabilidad. Esto podría deberse a que la distribución de clases de vulnerabilidad usada no se adapte por completo a Andorra causando que la misma parezca más vulnerable (Gonzalez et al. ,2007).

En la Cerdaña los dos escenarios sísmicos están asociados a distribuciones de daño muy similares, siendo ligeramente mayores los daños esperados en el escenario determinista basado en el terremoto de 1428. La distribución de daño del escenario probabilista para un periodo de retorno de 475 años revela que un 9% de los edificios de la Cerdaña podrían sufrir daños severos y el 2% podrían afectarse con daños muy severos. Estas cifras aumentan para el escenario determinista en el cual un 11% de los edificios de la región serian afectados por daños severos y un 4% podrían presentar daños muy severos.

En el caso de Andorra los mayores daños esperados provienen del escenario probabilista pues impone unas mayores intensidades en su territorio. Para el escenario probabilista con un periodo de retorno de 475 años un 7% de los edificios de la Andorra podrían verse afectados por daños severos y un 2% podrían experimentar daños muy severos. En el caso del escenario determinista, se esperarían daños severos en un 4% de los edificios y daños muy severos en un 1% de los mismos.

Las pérdidas asociadas a estos escenarios de daño se expresan en término de edificios inhabitables, personas sin hogar, heridos y víctimas mortales. Para estimar el

número de personas afectadas se aplican los coeficientes del ATC-13 (1985), mientras que los edificios inhabitables dependen de los edificios con grados de daño 3, 4 y 5 (Irizarry et al., 2007). La Figura 7 muestra un ejemplo de representación de los daños en términos de edificios que resultarían inhabitables para el escenario determinista en el supuesto de producirse un terremoto análogo al sucedido en 1428.

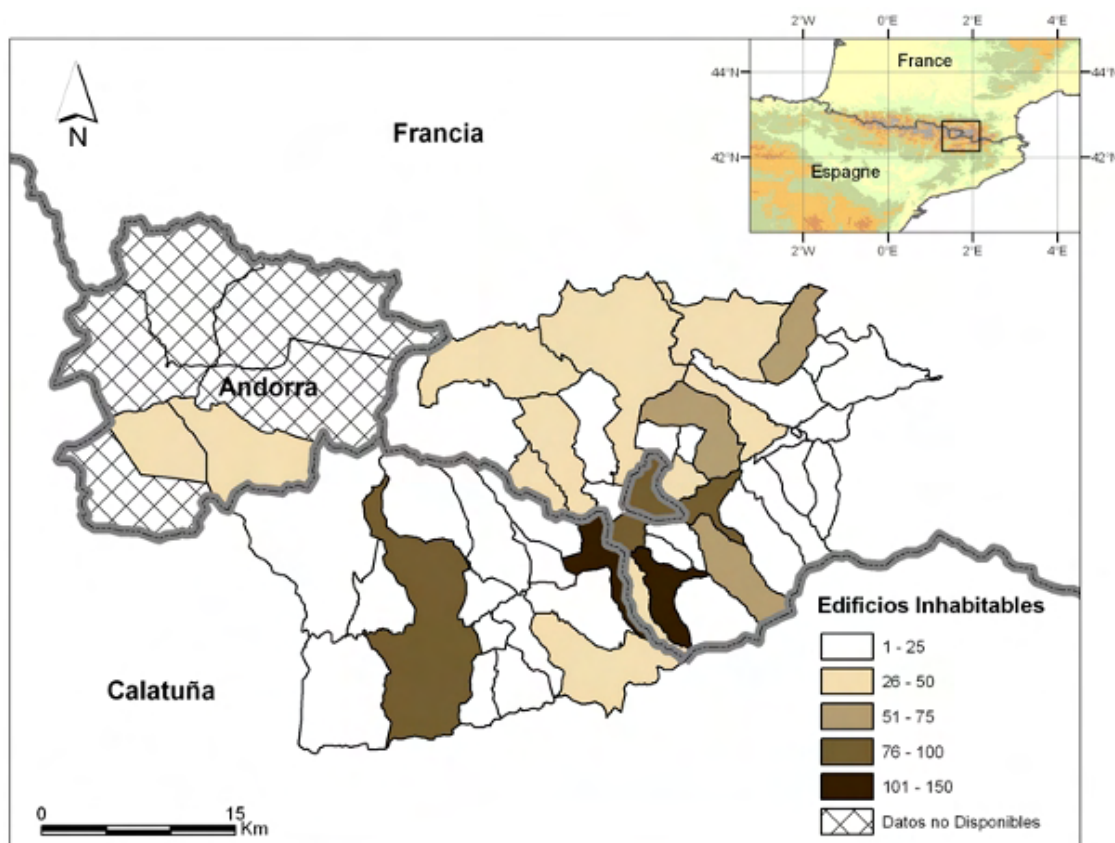


Figura 7. Representación del número de edificios que resultarían inhabitables en los municipios de la Cerdaña en caso que se produjera un terremoto análogo al ocurrido en 1428.

En la Cerdaña los escenarios considerados podrían causar unos 1600 edificios inhabitables, aproximadamente 3000 personas sin hogar, alrededor de 600 heridos y hasta unas decenas de víctimas mortales. En Andorra, el escenario probabilista tendría como consecuencia unos 140 edificios inhabitables, más de 1000 personas sin hogar y alrededor de 200 víctimas. Se debe considerar que estos resultados corresponden a la población residencial de la zona piloto, por lo que, estas cifras indudablemente aumentarían si el escenario ocurre en la época de mayor afluencia de turistas a la región.

Ambas metodologías para la evaluación del daño sísmico han probado ser métodos sencillos que pueden ser fácilmente aplicadas para el desarrollo de escenarios de daños a nivel regional requiriendo un conocimiento estadístico de las características del conjunto de edificios de la región.

Escenarios transfronterizos de daño para redes de comunicación y edificios esenciales

Para las redes de comunicación (carretera y tren) el inventario de movimientos en masa iniciado en la Cerdaña y el mapa geomorfológico de Andorra han permitido apreciar la sensibilidad de las infraestructuras a estos fenómenos. Se han propuesto matrices de disfunción, asociadas a las clases de vulnerabilidad de los distintos segmentos establecidos (Monge et al., 2007).

Respecto a los edificios esenciales se han seguido dos métodos distintos. Uno en términos de intensidad macrosísmica (Nivel 1) y otro en términos de espectros de demanda-capacidad (Nivel 2). Con el método de Nivel 1, se han tratado unos 40 edificios. Cada edificio está caracterizado por un índice y una clase de vulnerabilidad, permitiendo la estimación del grado de daño medio esperado mediante el método del índice de vulnerabilidad.

El método de nivel 2, aplicado a 5 edificios, consiste en calcular para cada edificio seleccionado una curva de capacidad mediante un análisis numérico de tipo "push-over". Aplicando el método del espectro de capacidad (Freeman 1998) se determina el punto de desempeño de la estructura al cruzar gráficamente la curva de capacidad con el espectro de demanda reducido del escenario sísmico a considerar.

Se han comparado los resultados de los dos niveles de evaluación para el edificio del cuartel de los Mossos d'Esquadra de Puigcerdà (Monge et al., 2007). Según el Nivel 1, una clase de vulnerabilidad D (V_I de 0,42) y una clase de riesgo débil a muy débil (μ_D de 0,4), sugieren esencialmente que el edificio tiene una probabilidad del 95% de sufrir daños débiles o nulos. Los resultados de Nivel 2 indican que el comportamiento del edificio queda dentro del dominio elástico por lo que no se esperan daños estructurales, y los daños no estructurales serían poco significativos. Los trabajos en curso permitirán confirmar la coherencia de los dos métodos.

Sobre el conjunto de edificios estratégicos analizados con la metodología de nivel 1, la jerarquización general de la vulnerabilidad entre Francia, Andorra y España parece significativa. A pesar de una proporción no despreciable de construcciones antiguas en mampostería, el tipo de estructura, las exigencias de la normativa sismorresistente y la forma de construcción podrían explicar el mejor comportamiento general de los edificios en Francia. En ausencia de reglas sismorresistentes en Andorra, la vulnerabilidad sísmica más débil en Andorra que en España se explica probablemente por la proporción de construcciones recientes con un debido cálculo estructural. Este resumen está tomado de las conclusiones de Monge et al. (2007), dónde se pueden encontrar desarrollados los métodos y los resultados.

Sistema transfronterizo de respuesta rápida después de un terremoto

Los sistemas de información sísmica que existen actualmente en Europa generan una cantidad muy limitada de información útil. Con el propósito de mejorar esta situación se ha desarrollado un sistema demostrativo para una región transfronteriza del Pirineo Oriental, que incluye Cataluña, Andorra y el Departamento de Pirineos Orientales en Francia. Un sistema de información en tiempo real basado en una red sísmica VSAT había sido desarrollado en una primera fase en Cataluña. Este sistema se está ampliando para cubrir una región transfronteriza, con la incorporación de tres nuevas estaciones acelerométricas en el sur de Francia y una en Andorra para un total de 19 estaciones de la red sísmica VSAT (Figura 8).



Figura 8. Mapa de situación de estaciones Broad Band y acelerómetros de la red VSAT- ISARD.

Se ha desarrollado e implantado un Sistema de Detección Automático (DAS) a partir de módulos de Earthworm Automático (USGS, 2005) para cumplir con los requisitos y condiciones de la red VSAT, que permite de manera automática detectar y localizar el evento sísmico. El sistema permite generar, en pocos minutos después de producirse un terremoto, una nota informativa con la estimación de los posibles daños a personas y edificios, destinada a los servicios de Protección Civil encargados de gestionar la crisis. Los escenarios de daño se basan en las metodologías estadísticas para la evaluación de la vulnerabilidad expuestas en los apartados anteriores y se representan mediante técnicas SIG.

EL principal objetivo es que este sistema automático de información sísmica pueda contribuir a mejorar la gestión de la crisis, compartiendo los medios disponibles por los distintos actores de Protección Civil, de acuerdo a la evaluación transfronteriza, y, por tanto coherente de los daños sufridos. Información más detallada sobre este sistema se puede encontrar en Goula et al., (2007).

Aspectos educativos y de difusión de la información

La difusión y valorización de la información generada en el proyecto se realiza por medio de una web trilingüe (francés, castellano y catalán) con vocación pedagógica. Esta web mantendrá al público informado de los avances obtenidos durante el proyecto, y en particular, de los sismos que se registren en la zona. Próximamente la misma estará disponible en www.isard-project.uv.

Además, en el marco de valorización de resultados y de comunicación de la información, hacia al final del proyecto, se organizarán seminarios y reuniones de intercambio de conocimientos entre científicos y técnicos de diferentes países, así como a los representantes de los servicios de auxilio y de gestión de la emergencia de las regiones fronterizas. Tal es el caso de la presente comunicación y lo será en el Congreso de la Asociación Francesa de Ingeniería Sísmica que tendrá lugar en julio de 2007 en París.

Conclusiones

El proyecto ha movilizado esfuerzos en el ámbito científico-técnico de distintas disciplinas como son: geología, sismología, ingeniería civil, telecomunicaciones, informática, protección civil, etc. Y ello en un ámbito de colaboración internacional entre organismos públicos y privados, franceses y españoles. Se ha producido una sinergia considerable de modo que los logros que pasamos a enumerar no son más que el inicio de una colaboración que va a tener continuidad en el campo de la evaluación del riesgo y en particular en su proyección a los servicios de protección civil de ambos países. Pasamos a enumerar los principales logros en acuerdo con los objetivos fijados:

- Nueva zonación sísmica unificada y transfronteriza de todo el Pirineo, que será útil para el desarrollo de nuevas aportaciones a las normativas sismorresistentes de Francia, España y Andorra.
- Propuesta de escenarios realistas de daño sísmico en dos zonas piloto, el valle de la Cerdaña, zona rural y turística situada a ambos lados de la frontera y los valles de Andorra, de gran concentración urbanística. Los resultados obtenidos permitirán la realización de simulacros de crisis por parte de los servicios de Protección Civil de los tres países.
- La realización de estos escenarios a permitido desarrollar una nueva metodología para la obtención de escenarios que permite tomar en cuenta los efectos de amplificación de suelos, considerar tipologías constructivas más adaptadas a la realidad de cada región, así como mejorar la representación de los resultados en áreas urbanas, a través de un SIG, en lugar de usar todo el municipio como unidad de representación. Esta metodología será útil para la definición de proyectos de riesgo sísmico urbano.
- Extensión de la red sísmica VSAT existente en Cataluña a una red transfronteriza, formada por sismógrafos de banda ancha y acelerómetros, con registro continuo en centros de recepción de datos situados en Barcelona y Orléans,
- Mejora del sistema automático de detección y localización de terremotos, con la puesta en servicio de un sistema automático de envío de mensajes por SMS, correo electrónico y fax de informes completos de los daños esperados, minutos después de ocurrido un terremoto, para un territorio que cubre diversos municipios del departamento de Pirineos Orientales franceses, Cataluña y Andorra.
- Puesta en servicio de una web trilingüe: francés, castellano y catalán para poner a disposición de los usuarios, de los datos y resultados obtenidos durante el proyecto e informar al público en general sobre la sismicidad y el riesgo sísmico de los Pirineos.

Referencias:

- Chávez, J. (1998). "Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: Aplicación a Cataluña". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 1998. 343 p.
- Freeman, S. A., (1998), "The capacity spectrum method as a tool for seismic design", Proceedings of the 11th Conference of Earthquake Engineering, Paris, France.
- Giovinazzi, S. y Lagomarsino, S. (2004), "A macroseismic method for vulnerability assessment of buildings", Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper ID 896.
- González, M., Irizarry, J., Susagna, T., Goula, X. y Pujades, Ll. (2007), "Realización de escenarios de daños en el Principado de Andorra: Aplicación a la zona más poblada del País", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007, Girona.
- Goula, X., Colas, B., Jara, J.A., Romeu, N., Dominique, P., Susagna, T., Irizarry, J., Sedan, O., Figueras, S., Olivera, C. y Roca, A. (2007), "Sistema de respuesta rápida

despues de un terremoto en el pirineo oriental", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007, Girona.

- Grünthal, G. (editor) (1998), "European Macroseismic Scale 1998". *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 7, Luxembourg, 99 pp.
- Irizarry, J., Roussillon, P., González, M., Colas, B., Sedan, O. y Susagna, T. (2007), "Escenarios transfronterizos de riesgo sísmico en el Pirineo Oriental", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007, Girona.
- Macau, A., Figueras, S., Susagna, T., Colas, B., Le Brun, B., Bitri, A., Cirés, J., González, M., y Roullé, A. (2007), "Microzonación sísmica en el Pirineo Oriental en términos de aceleración y intensidad macrosísmica", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007, Girona.
- Monge, O., Irizarry, J., González, M. y Taillefer, N. (2007), "Escenarios de daño para edificios esenciales y redes de comunicación en Cerdeña y Andorra. Aspectos metodológicos y resultados del Proyecto ISARD", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007, Girona.
- Mouroux, P. y Lebrun, B. (2006), "RISK-UE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different european towns", In: C. S. Oliveira, A. Roca and X. Goula, (Editors), *Assessing and Managing Earthquake Risk*, pp 479 - 508, Springer.
- Roca, A., Goula, X., Susagna, T., Chávez, J., González, M. y Reinoso, E. (2006), "A simplified method for vulnerability assessment of dwelling buildings and estimation of damage scenarios in Spain", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol 4, pp 141 -158.
- Secanell, R., Martín, Ch., Goula, X., Susagna, T., Tapia, M., Bertil, D., Dominique, P., Carbon, D. y Fleta, J. (2007b), "Evaluación probabilista de la peligrosidad sísmica de la region pirenaica", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007.
- Susagna, T., Goula, X., Roca, A., Pujades, L., Gasulla, N. y Palma, J.J. (2006), "Loss scenarios for regional emergency plans: application to Catalonia, Spain", In: C. S. Oliveira, A. Roca and X. Goula, (Editors), *Assessing and Managing Earthquake Risk*, 463 - 478, Springer.
- Tapia, M., Susagna, T. y Goula, X., (2007), "Curvas predictivas del movimiento del suelo en el Oeste del Mediterráneo", 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 Mayo 2007, Girona.
- USGS (2005). "Earthworm Documentation Release 6.2", in <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>.

Agradecimientos

El proyecto ha sido posible gracias a la financiación aportada por el programa INTERREGIIIa Francia-España y a la colaboración de los organismos participantes en el proyecto. Hemos de agradecer en particular la colaboración de todas las personas y empresas que han hecho posible la construcción e instalación de las estaciones sísmicas, responsables municipales, técnicos y personal especializado en las comunicaciones informáticas entre los dos países. Así mismo agradecemos a todos los participantes en los estudios de campo y de gabinete, autores de los distintos trabajos citados en este texto.