

EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN ESPAÑA PARA APLICACIONES RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD NUCLEAR. RESULTADOS PRELIMINARES.



B. Benito¹, J. M. Gaspar-Escribano¹, A. Rivas-Medina¹, J.J. Martínez-Díaz², O. Rodríguez¹, M. S. Ramírez³

¹ Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Campus Sur UPM, Ctra. de Valencia, km 7.5, 28031 Madrid, Spain.
mariabelen.benito@upm.es

² Dpto Geodinámica, Facultad CC Geológicas, UCM.

³ Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

RESUMEN

En este trabajo se presentan los avances realizados en el marco del proyecto “Evaluación de la Peligrosidad Sísmica en España para aplicaciones relacionadas con la seguridad nuclear” financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear. La finalidad última del proyecto es ahondar en el conocimiento de la peligrosidad sísmica y de su incertidumbre en los emplazamientos de instalaciones críticas como instalaciones nucleares y almacenamientos de residuos radiactivos en nuestro país. Con ese propósito, una primera fase del proyecto está destinada a recopilar y estructurar toda la información generada en proyectos previos financiados por el CSN (DAÑOS, SIGMA, PRIOR, EXPEL y DATACIÓN) concerniente a estudio de fallas activas, análisis de paleosismicidad, catálogos sísmicos y de movimiento fuerte del suelo, etc.. Esta información está siendo integrada y unificada en una Base de Datos y en un Sistema de Información Geográfica. Paralelamente, el código informático desarrollado en el proyecto EXPEL está siendo actualizado para desarrollar cálculos de peligrosidad sísmica siguiendo la metodología PSHA de una forma eficiente, incluyendo formulación de un árbol lógico, cuantificación de incertidumbres epistémicas y aleatorias, análisis de sensibilidad de diferentes opciones en los resultados y desagregación. Los resultados preliminares del proyecto son presentados en esta comunicación, dando una orientación hacia futuros desarrollos y toma de decisiones relacionados con la seguridad nuclear.

Palabras clave: Peligrosidad sísmica, Instalaciones nucleares, España.

SUMMARY

This work presents the last developments of the project “Seismic hazard assessment in Spain for applications in nuclear safety”, financed by the Nuclear Security Council of Spain (CSN). The last goal of the Project is to deepen onto the knowledge of seismic hazard and related uncertainties for Spanish sites of critical facilities, such as nuclear power plants and radioactive waste repositories. The first part of the Project deals with the compilation of information on active faults, strong motion data, seismic catalogs, etc. Generated in previous CSN-funded projects (Daños, Sigma, Prior, EXPEL). This information is integrated and unified in a geographic information system and related database. In parallel, the EXPEL code for efficient seismic hazard assessment computations is being updated following the PSHA methodology, which includes a logic tree formulation. The quantification of aleatory and epistemic uncertainties and hazard deaggregation are implemented in the code. Preliminary results and future developments of the project are presented in this paper.

Keywords: Seismic hazard, Nuclear facilities, Spain

Introducción

Este proyecto pretende avanzar en el conocimiento de la peligrosidad sísmica en España, y esencialmente en los niveles del movimiento esperado con bajas probabilidades de excedencia, aplicables a la caracterización de emplazamientos en el campo de la seguridad nuclear. La base documental de partida para la ejecución del proyecto aprovecha los resultados de proyectos previos financiados por el CSN y otros organismos relacionados con la sismicidad y el riesgo sísmico. Ésta se organizará de forma estructurada en un SIG Geofísico que se está construyendo a tal fin, asimismo se dispone de herramientas también generadas en proyectos previos, esencialmente software, bancos y bases de datos, para la ejecución del nuevo proyecto. Con todo ello se efectuará un completo estudio de peligrosidad en España, dedicando especial atención a algunas zonas consideradas tradicionalmente como estables, como la Meseta Central, donde recientemente han ocurrido terremotos de magnitud moderada que en un caso, terremoto de Escopete, disparó el acelerómetro de campo libre de la Central Nuclear José Cabrera, que se encuentra en condición de parada por cese definitivo de la operación desde 30 de abril de 2006. Se seguirá para ello la metodología de PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment), que llevará a efectuar análisis considerando diversas opciones en cuanto a zonificación sísmica, modelos particulares de fallas, modelos de atenuación y modelos de sismicidad, incluyendo métodos zonificados y no zonificados. Se realizará una exhaustiva revisión de las fallas activas de España y se propondrán modelos de recurrencia para las mismas utilizando datos sísmicos, tectónicos, paleosísmicos y control de deformaciones con técnicas GPS. Con las distintas opciones se construirá el árbol lógico para cuantificar las incertidumbres epistemológicas y se implementará el método de Montecarlo para estimar las incertidumbres aleatorias. El análisis se realizará para largos periodos de retorno, superiores a 10^4 años que serán analizados estadísticamente.

En este trabajo se presenta el estado actual del proyecto después de haber concluido el primero de los tres años destinados a su ejecución. Durante este primer año se han acometido las tareas previstas en las Fase 1, dedicada a la recopilación de información y configuración de datos de partida, previos a la propia evaluación de la peligrosidad sísmica. A continuación se desglosan las tareas ejecutadas en los apartados:

- Actualización del SIG Geofísico.
- Caracterización sismogenética de fallas activas.
- Elaboración de un catálogo sísmico para España.
- Actualización y mejora del programa EXPEL.
- Desarrollo y/o selección de modelos del movimiento fuerte/atenuación.
- Caracterización sísmica de fuentes.

Figura 1 muestra un esquema de los input necesarios para caracterizar la fuente sísmica del estudio.

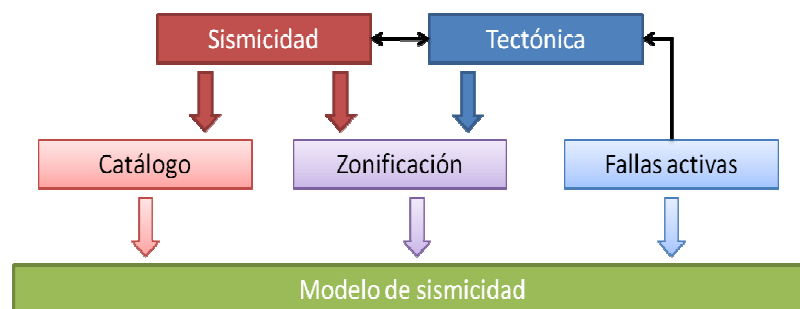


Figura 1. Caracterización de la Fuente Sísmica.

1 Creación del Sistema de Información geográfica

Los objetivos del SIG en este proyecto son:

- Recopilar y poner en un mismo entorno de trabajo toda la información existente y generada en proyectos anteriores, lo que conforma los datos de partida del proyecto.
- Dotar al proyecto de una herramienta de visualización espacial de la información que facilite el análisis de los parámetros participantes en el cálculo de la peligrosidad.
- Permitir la consulta de información y generación de nuevos datos con facilidad y eficiencia para la toma de decisiones.

La *Información de partida* estará integrada por los siguientes datos:

- Divisiones administrativas y toponimia del IGN.
- Sismicidad: Catálogo sísmico de proyecto.
- Tectónica: Catálogo de fallas con actividad neotectónica y/o cuaternaria. Mapa sismotectónico de España.
- Zonificaciones sísmicas desarrolladas en la zona de estudio.
- Zonificación propuesta para este proyecto.
- Localización de los emplazamientos de instalaciones nucleares y de almacenamientos de residuos radiactivos.
- Mapas generados en proyectos previos (Daños, Sigma, Prior, EXPEL, Datación).

El *área de trabajo* comprende una zona limitada por los meridianos 13W a 6E y los paralelos 34N a 45N y el *sistema de referencia* es el ETRS89 (Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989) coincidiendo con el sistema de referencia oficial de España.

2 Actualización de las bases de datos de fallas

La primera tarea se ha enfocado hacia la actualización de las bases de datos de fallas con actividad neotectónica y asignación de parámetros sísmicos a las fallas activas, incluyendo sus rangos de incertidumbre. Esto ha supuesto la recopilación e integración de datos previos a distintas escalas y el establecimiento de una clasificación de las fallas basada en criterios tectónicos.

Esta tarea se ha centrado en dos actividades fundamentales: 1) Por un lado, se ha llevado a cabo un análisis preliminar del estado del arte referente a los estudios de fallas activas realizados hasta la fecha en el territorio de la Península Ibérica mediante la recopilación de artículos científicos, informes, mapas y datos cartográficos. 2) Por otro lado, la actividad fundamental que ha contribuido a esta tarea ha sido la organización en colaboración con el proyecto europeo SHARE y el Instituto Geológico y Minero de España de la reunión científica IBERFAULT: Primera Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología.

Como resultado de estas dos actividades se ha diseñado y elaborado, en colaboración con el IGME e investigadores de varias universidades, una base de datos de fallas activas en el Cuaternario de la Península Ibérica QAFDBI: Quaternary Active Fault DataBase of Iberia, que en estos momentos se encuentra en proceso de revisión.

2.1 IBERFAULT: Primera Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología

Como actividad principal realizada destacamos la organización de esta reunión que se llevó a cabo durante los días 27, 28 y 29 de Octubre en el Parador Nacional de Sigüenza. En el sitio web www.iberfault.org puede encontrarse información adicional.

En la reunión IBERFAULT participaron 85 especialistas en fallas activas (fundamente geólogos, físicos, ingenieros y técnicos en riesgos) que abarcan en sus áreas de trabajo prácticamente todas las regiones tectónicas de la Península. Durante la reunión se presentaron más de 50 comunicaciones en las que se expusieron tanto recopilaciones como nuevos datos de fallas activas reconocidas y estudiadas en la Península en los últimos años. Como resultado mayor de este flujo del conocimiento actual sobre fallas activas se editó un Volumen de Resúmenes de 215 páginas titulado: "*Contribución de la Geología al Análisis de*

la Peligrosidad Sísmica” que puede descargarse en: www.iberfault.org. En muchos de estos trabajos, además de los datos de localización de las fallas activas, se incluyen parámetros de actividad como la tasa de deslizamiento, intervalo de recurrencia medio, terremoto máximo etc.

2.2 QAFDBI: Quaternary Active Fault DataBase of Iberia

Uno de los objetivos fundamentales de esta tarea, era la actualización de las bases de datos de fallas con actividad neotectónica. Para ello, y partiendo como base del Mapa Neotectónico de España (IGME, 1998), y sobre todo de la compilación de datos realizada a partir de la reunión IBERFAULT se ha diseñado la base de datos QAFDBI. El diseño de la arquitectura de la base de datos ha sido realizado por personal del IGME, con apoyo científico de geólogos también del IGME y varios miembros de este proyecto.

El objetivo principal de la QAFDBI es identificar y registrar aquellas fallas que presenten evidencias de actividad durante el Cuaternario, es decir, en los últimos 2.6 millones de años de acuerdo con el límite establecido oficialmente por la Subcomisión del Cuaternario del INQUA (Gibbard et al., 2009). Este límite temporal, más amplio que el considerado en otros países de actividad mayor, se considera adecuado para la península Ibérica ya que la velocidad de las fallas es menor y, del mismo modo, los ciclos sísmicos de liberación de esfuerzos en las fallas, mayores.

La Base de Datos se ha creado con Access 2003 de MicroSoft, Inc.. Para poder abrir correctamente la base de datos es necesario utilizar Access 2003 o una versión posterior. Esta base de datos completa será accesible en el futuro a través de la página del IGME. En lo que se refiere a este proyecto, la base de datos QAFDBI constituye la base de información geológica que se utilizará en las siguientes fases del proyecto, y será adaptada a las necesidades específicas de este proyecto.

3 Elaboración de un catálogo sísmico para España

Para la preparación del catálogo sísmico de proyecto se ha partido del catálogo del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Este catálogo original contiene del orden de 55900 terremotos, desde el año 880 a.C. (primera referencia) hasta 2010.

El catálogo se ha dividido en tres periodos fundamentales de la historia de los registros sísmicos en España, que se diferencian esencialmente en la medida del tamaño de los sismos catalogados.

- *Catálogo histórico*: hasta el año 1923, con Intensidad como parámetro de tamaño.
- *Catálogo Pre-instrumental*: desde 1924 hasta 1963, con intensidad y magnitud duración.
- *Catálogo instrumental*: desde 1964 hasta 2010. Se caracteriza por tener varios parámetros de medida de magnitud asociados a diferentes periodos, m_{blg} (Mezcua y Martínez-Solares, 1983), m_b (Veith y Clawson 1972), m_{blg} (López 2008) y M_w (a partir del año 2002 para terremotos relativamente grandes, aproximadamente para los eventos con magnitud M_w 3.5 o superior).

¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida. 1 se incluye un resumen del tipo de magnitud utilizada en el catálogo filtrado en función del tiempo.

Tabla 1. Resumen de cada tipo de parámetro de daño utilizado en el catálogo original en cada periodo. Nota: MMS : Mezcua y Martínez-Solares, 1983; VC: Veith y Clawson 1972 L: Lopez,2008

Catálogo	Periodo	Parámetro de Tamaño
HISTÓRICO	1048 -1923	I_0
PRE-INSTRUMENTAL	1924 -1962	m_D
INSTRUMENTAL	1963 -1998	$m_{blg}(MMS)$
	1998 -2002	$m_b(VC)$
	2002-2008	$m_{blg}(L)$
		M_w

Para tener una medida homogénea del tamaño de los terremotos, se ha decidido utilizar la magnitud momento M_w , dado que esta escala no se satura para grandes terremotos, tiene una relación directa con la energía elástica liberada en la fuente y además es la escala comúnmente empleada en la actualidad en los modelos de movimiento fuerte del suelo. Para ello se han realizado y analizado diferentes ajustes de regresión lineal a fin de correlacionar otras escalas de magnitud o intensidad con la M_w , atendiendo también a diversos periodos temporales y regiones geográficas.

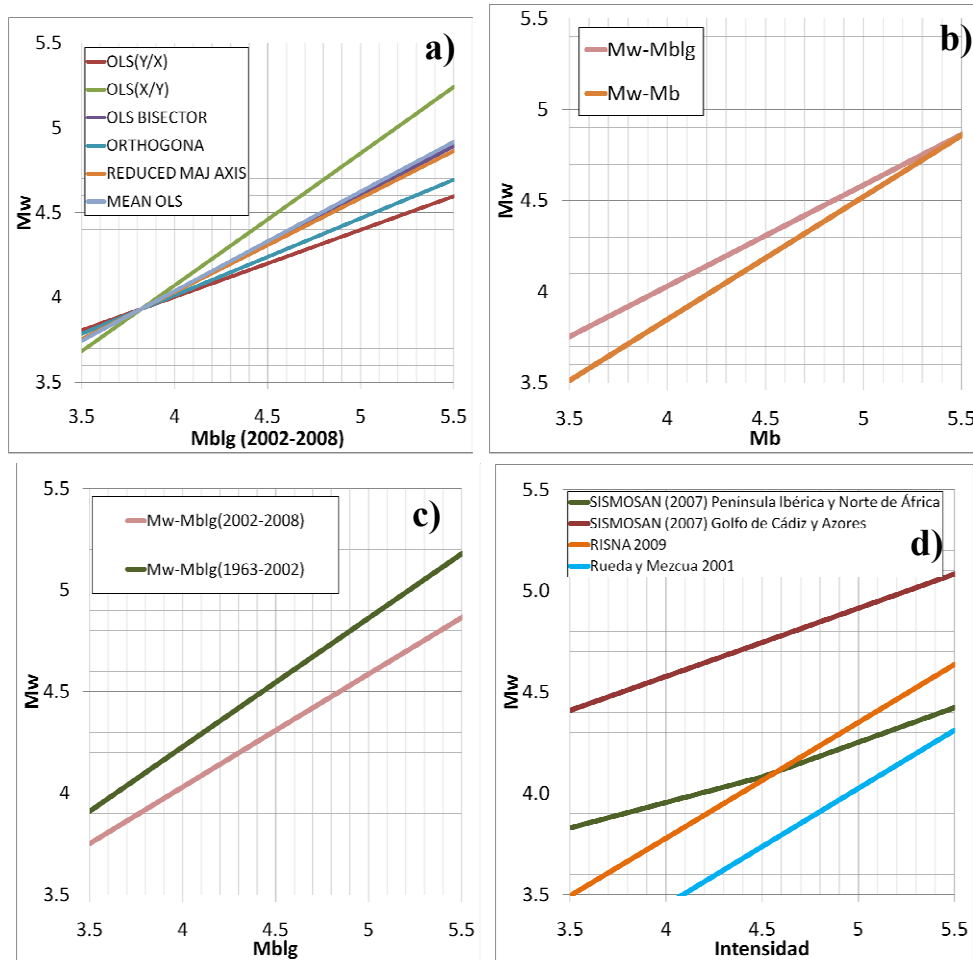
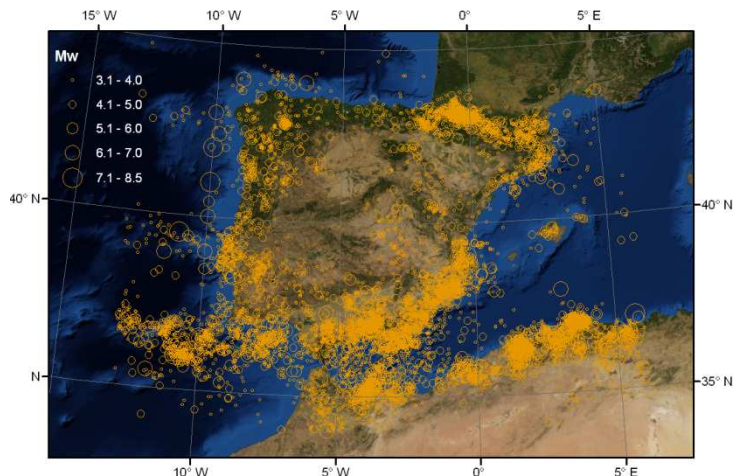


Figura 2: Gráficas mostrando la influencia de diferentes factores en las correlaciones resultantes entre diferentes parámetros con la magnitud momento M_w : a) Influencia del método de regresión b) influencia de la consideración de distintas escalas de magnitud como dato de partida c) influencia de la temporalidad en los registros del catálogo. d) Diferencia entre correlaciones con la intensidad en diferentes estudios.

El catálogo de proyecto consta de 10089 terremotos, repartidos en toda el área de influencia, con una profundidad inferior a 65 km y ocurridos entre el año 1048 y el año 2008.

Figura 3. Mapa con el catálogo del proyecto con terremotos de magnitud M_w 3.1 hasta 8.5



4 Caracterización sísmica de fuentes

En este trabajo se han estudiado y recopilado los modelos de zonas sismogénicas desarrolladas en España y zonas cercanas en las últimas décadas (Figura 4). Un sumario de las publicadas para la Península Ibérica y Norte de África se expone a continuación.

- Zonificación de IPEEE (1993): desarrollada en el contexto del estudio de peligrosidad para plantas nucleares españolas a comienzos de la década de los 90.
- Zonificación de Molina (1998): Propone un modelo de grandes zonas y otro más detallado de zonas a mayor escala.
- Zonificación de la NCSE-02: fue el empleado para la realización del mapa peligrosidad sísmica de la actual Norma de Construcción Sismorresistente de España NCSE-02.
- Zonificación GSHAP (Giardini et al 1999): tiene por objeto combinar (haciendo los cambios oportunos en las zonas de solape) las zonificaciones oficiales de diferentes países para obtener un mapa de peligrosidad mundial. El proyecto GSHAP fue actualizado posteriormente por el proyecto SESAME, si bien la mayor parte de la zonificación del GSHAP permaneció inalterada con respecto a la de la norma NCSE-94.
- Aoudia et al. (2000): zonificación de la región del Atlas-Tell (Argelia).
- Zonificación de Hamdache (1998): zonificación del Norte de Argelia.

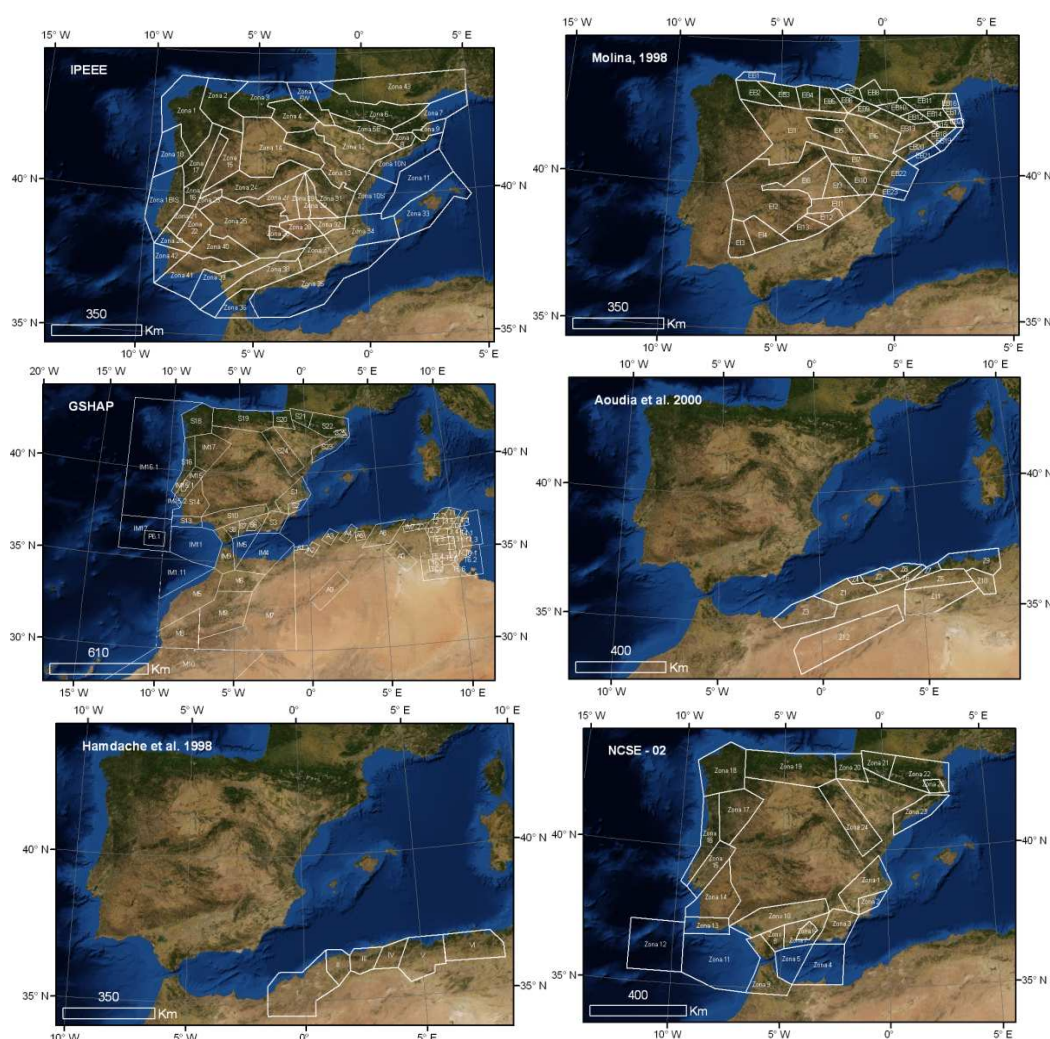


Figura 4. Distintas zonificaciones sísmicas: a) Mapa del proyecto IPEEE, b) Molina (1998), c) Proyecto GSHAP, d) Aoudia et al. (2000), e) Hamdache et al (1998), f) NCSE-02.

Se tendrán en cuenta además otras zonificaciones regionales, como la de López-Casado (1995) para Andalucía, la de García-Mayordomo (2005) para Murcia, la de Secanell et al. (2004) para Cataluña o la del proyecto RISNA (Benito et al. 2008) para Navarra.

5 Recopilación de modelos de movimiento fuerte aplicables a España

Los modelos del movimiento fuerte desarrollados con datos españoles presentan la seria limitación de carecer de información para los rangos de magnitud y de distancias para los que se esperan movimientos fuertes significativos desde el punto de vista de la peligrosidad sísmica. El ejemplo más representativo de modelo del movimiento fuerte elaborado con datos registrados en España, que proporciona una estimación de la aceleración a partir de la magnitud y de la distancia, es el de Cabañas et al. (1999), revisado por Benito y Gaspar-Escribano (2007). Los posteriores modelos (Tapia 2006, Mezcuca et al, 2008) no han aportado novedades significativas con respecto al primer modelo, dada la ausencia de registros de terremotos con epicentro en el área de estudio dentro de los rangos de magnitud y distancia de interés ingenieril. Todos estos modelos dan aceleraciones máximas del terreno similares para bajas magnitudes.

Dada la inviabilidad práctica de obtener modelos del movimiento fuerte con datos españoles, diversos autores prefieren utilizar modelos del movimiento en términos de intensidad (Martín, 1983; López-Casado et al. 2000) y convertir posteriormente los resultados del análisis a aceleración pico del suelo o a aceleraciones espectrales mediante alguna correlación. No obstante, este método acarrea mayor incertidumbre que es difícilmente cuantificable y, no permite obtener una representación adecuada de las aceleraciones espectrales esperadas y por tanto de los espectros de respuesta.

Los modelos de movimiento fuerte más recientes desarrollados en Europa, presentados en Ambraseys et al. 2005 y Akkar y Bommer (2010), requieren del conocimiento o asignación de mecanismos de ruptura en la fuente sísmica, así como ocurre con los modelos conocidos como *Next Generation Attenuation Project (NGA)* (Power et al. 2008) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** izq). Otros modelos más antiguos, desarrollados en distintas partes del mundo y que no requieren la utilización de parámetros que caractericen con tanto detalle la fuente sísmica, son los de Ambraseys et al. (1996), Sabetta y Pugliese (1996), Berge-Thierry et al. (2003) y Lussou et al. (2001). Todos ellos han sido desarrollados utilizando datos de zonas sismotectónicas, relativamente afines a nuestra zona de estudio (Figura 5 dcha).

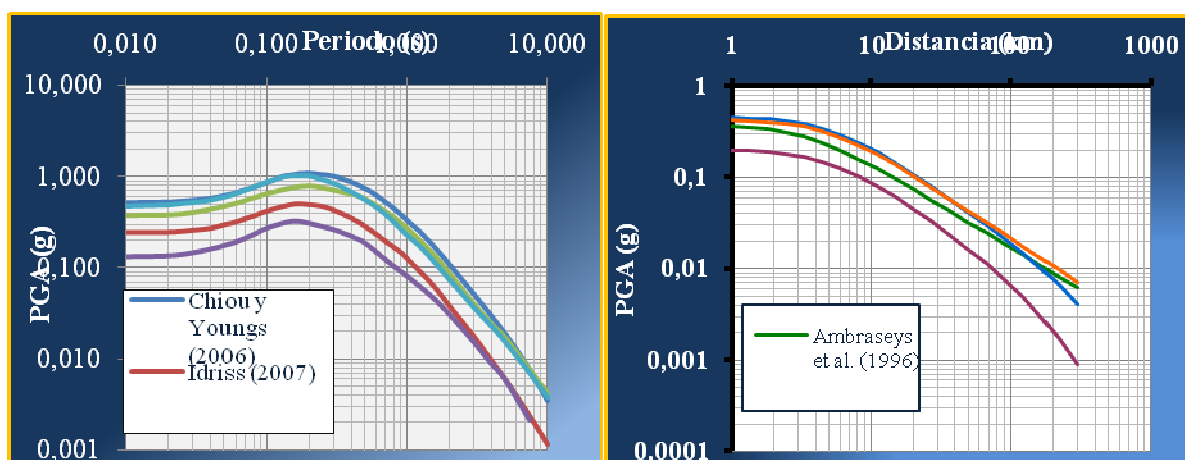


Figura 5. Izq.: Gráfica comparativa de los modelos de atenuación de la NGA (Next Generation Attenuation models). Dcha.: Gráfica comparativa de los modelos de atenuación europeos generales.

6 Software para el cálculo de la peligrosidad

El *Software* EXPEL es una aplicación informática para el análisis probabilista de la peligrosidad sísmica. El propósito de esta aplicación es aunar en una sola herramienta los diversos procedimientos usados en este tipo de análisis, desde la obtención de parámetros de la ley de Gutenberg-Richter de cada zona hasta la representación de los espectros de peligrosidad uniforme (UHS) o los específicos de sismos de control obtenidos por desagregación. El sistema EXPEL se integra con otras herramientas externas para llevar a cabo el análisis probabilista en la línea PSHA. Estas herramientas son completamente independientes y con el paso del tiempo se han ido actualizando, adaptándose a las versiones más modernas de los programas como Crisis 2007 (Ordaz et al., 2007), y haciendo más versátiles las diferentes operaciones que llevan a la estimación de parámetros sísmicos. Por ejemplo, intervalos de magnitud flexibles para el cálculo de la Ley G-R, diferentes métodos de ajuste, etc.

A largo plazo se propone realizar un estudio sobre la arquitectura actual de la aplicación y adaptarla a una nueva arquitectura más modular, escalable, fácil de mantener y de depurar, para lo que hará falta usar métodos propios de la ingeniería del software para minimizar los posibles errores que se pudieran presentar en este proceso. La arquitectura modular facilita la identificación y corrección de errores, la modificación de partes de código y la adición de una nueva funcionalidad sin que haya un gran impacto en el resto de la arquitectura. Durante el proceso será necesario definir planes de pruebas para asegurar la calidad del software. Un organigrama de este software se muestra en Figura 6.

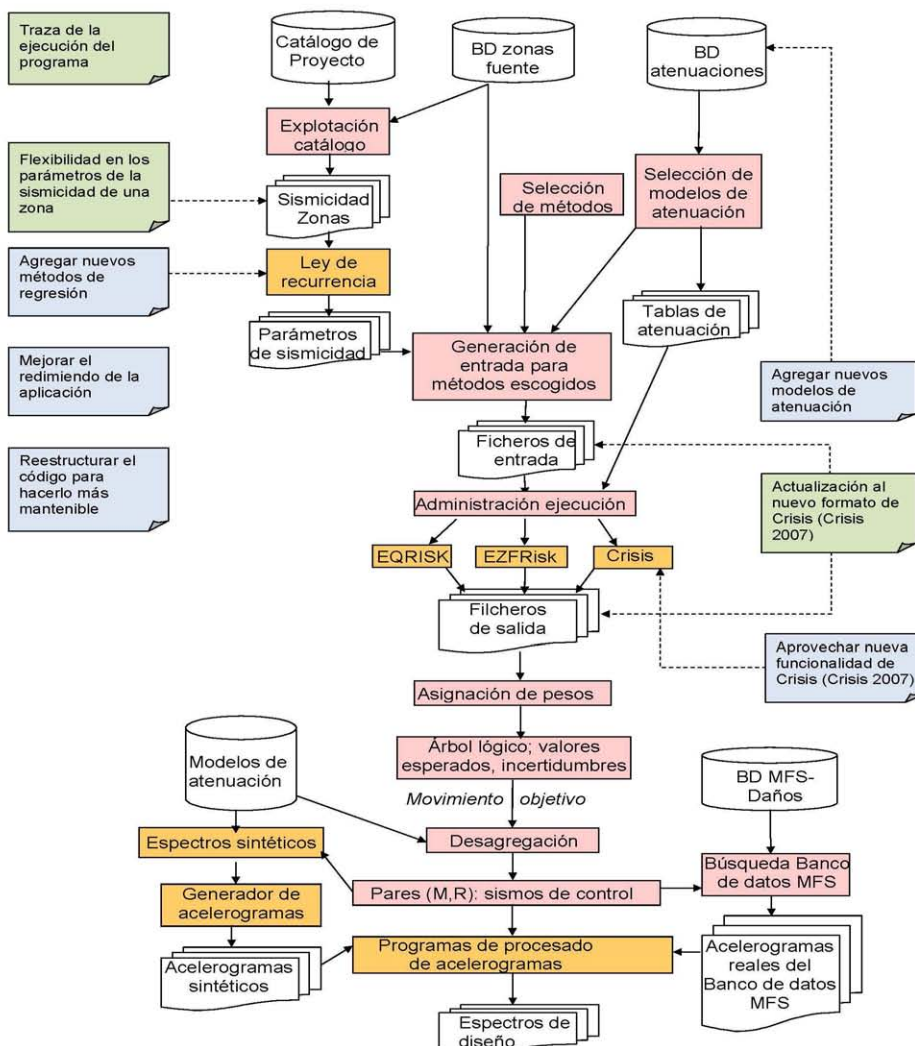


Figura 6. Diagrama de flujo del software de EXPEL.

7 Líneas futuras de actuación

En una siguiente fase se procederá a completar los inputs para el cálculo de la peligrosidad, decidiendo cuestiones como: modelos de zonificación a utilizar, fallas activas y parámetros característicos a incluir, modelos de movimiento fuerte a considerar -previo contraste con datos reales-, configuración del arbológico y análisis de incertidumbres a desarrollar. Se pondrá especial atención a la cuantificación de incertidumbres, tanto epistémicas como aleatorias, y se obtendrán parámetros como el Coeficiente de Variación (COV) que informen del grado de robustez de los resultados obtenidos en cada emplazamiento analizado, algo de indudable importancia en el marco de la seguridad nuclear.

Agradecimientos

Este trabajo es un avance del proyecto: Evaluación de la Peligrosidad Sísmica en España para aplicaciones relacionadas con la seguridad nuclear, financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Referencias

- Akkar S. Bommer J.J. (2010). Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region and the Middle East, *Seismol Res Let*, 81, 195-206.
- Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sarma, S. K., Smit, P. M. (2005). Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, *Bull Earthquake Eng*, 3, 1-53.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., Bommer, J. J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Eng. Struct. Dynamics*, vol. 25, pp. 371-400.
- Aoudia, A; Vaccari, F; Suhadolc, P; Meghraoui, M (2000). Seismogenic Potential and Earthquake Hazard Assessment in the Tell Atlas of Algeria, *Journal of Seismology* Vol.4, pp. 79–98.
- Babu G.J., Feigelson E.D., Analytical and Monte Carlo comparisons of six different linear squares fits, 1992, *Comm. Statist. Comput. Simul.*, 21(2), 533
- Berge-Thierry, C., Cotton, F., Scotti, O., Griot-Pommer, D.-A., Fukushima, Y. (2003) New Empirical Response Spectral Attenuation Laws for Moderate European Earthquakes, *J. Earthquake Eng.*, vol. 7, No. 2, pp. 193-222.
- Cabañas, L., Benito, B., Cabañas, C., López, M., Gómez, P., Jiménez, M. E., Álvarez, S., (1999). Banco de Datos de Movimiento Fuerte del Suelo MFS. Aplicaciones, in: *Ingeniería sísmica*, edited by M. B. Benito, D. Muñoz, *Física de la Tierra*, vol. 11, pp. 111-137.
- Benito y Gaspar Escribano
- García-Mayordomo, J. (2005). Caracterización y análisis de la peligrosidad sísmica en el sureste de España, PhD Thesis, Universidad Complutense de Madrid, 379 pp.
- Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K., Zhang, P. (2003). The GSHAP Global Seismic Hazard Map. Editado por: W. Lee, H. Kanamori, P. Jennings. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, IASPEI.
- Gibbard, P.L., Head, M.J., Walker, M.J.C. & the Subcommission on Quaternary Stratigraphy. 2009 Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Journal of Quaternary Science*.
- Hamdache, M (1998). Seismic Hazard Assessment for the Main Seismogenic Zones in North Algeria, *Pure Appl. Geophys.* 152 pp. 281–314.
- IPEEE (1993). IPEEE seismic hazard study for Spanish nuclear power plants. Part I-Generic study, SMT/93/001R, Westinghouse Energy Systems Europe, EQE Engineering Inc., Geomatrix Consultants Inc., 89 pp. + Figures+Tables+References.
- Isobe T. et al., Linear regression in Astronomy. I., 1990, *ApJ*, 364, 104
- López Casado, C., Sanz de Galdeano, C., Delgado, J. and Peinado M.A. (1995). The Parameter b in the Betic Cordillera, the Rif and Neighbouring Areas. Its Relations with the Tectonics of the Region. *Tectonophysics*, 248, 277-292.
- López, C. (2008). Nuevas fórmulas de magnitud para la Península Ibérica y su entorno. Trabajo

de investigación del Máster en Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid.

- Lussou P., Fukushima Y., Bard P.Y., Cotton F., (2001) "Seismic design regulation codes: contribution of Knet data to site effect evaluation". *J Earthquake Eng*, 5, 13-33.
- Mezcua J., Martínez Solares J. M. (1983). Sismicidad del área Iberomogrebí. IGN, Pub. 203, 301p
- Mezcua, J., Rueda, J., García Blanco, R. M. (2008). On the Strong Ground Motion Attenuation in Spain. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, v. 98; no. 3; p. 1343-1353.
- Molina, S. (1998) Sismotectónica y peligrosidad sísmica del área de contacto entre Iberia y África, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 280 pp.
- Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J. (2007). CRISIS 2007: A program for computing seismic hazard. *Instituto de Ingeniería UNAM*, México.
- Power M., Chiou B., Abrahamson N., Bozorgnia Y., Shantz T., Roblee T. (2008), "An Overview of the NGA Project." *Earthquake Spectra*, 24, 3
- Sabetta, F., Pugliese, A. (1996) Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 86, pp. 337-352.
- Secanell, R., Goula, X., Susagna, T., Fleta, J., Roca, A. (2004). Seismic hazard zonation of Catalonia, Spain, integrating random uncertainties. *J. Seism.*, vol. 8, pp. 25–40.
- Tapia, M (2006) Desarrollo y aplicación de métodos avanzados para la caracterización de la respuesta sísmica del suelo a escala regional y local. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña.
- Tofallis, C. (2000) ' Multiple Neutral Regression.' Business School Working Papers UHBS 2000-13, Operational Research Paper 14
- Veith, K.F., G.E. Clawson (1972). Magnitude from short period P-wave data. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 62 N° 2, pp. 435-452.