



Guía de Seguridad SSG-9 del OIEA y documentos técnicos de apoyo

María José Crespo	Principia Ingenieros Consultores
Pablo G. Silva	Universidad de Salamanca
José G. Sánchez Cabañero	Consejo de Seguridad Nuclear

RESUMEN

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) publicó en 2010 la Guía Específica de Seguridad SSG-9 que cubre todos aspectos relacionados con la peligrosidad sísmica. Actualmente el OIEA está elaborando cinco documentos que servirán de guía detallada para aplicar la SSG-9.

En este artículo se describen los aspectos más relevantes de la SSG-9, en parte motivados por las lecciones aprendidas del terremoto de 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki, que llevó a parada al reactor de la central nuclear Kashiwazaki-Kariwa en Japón. También se revisan los contenidos de los cinco documentos de apoyo a la guía, identificando sus aspectos más innovadores y su vinculación con el estado del arte actual.

La SSG-9 describe alcance que ha de tener la investigación geológica, geotécnica y sísmica del emplazamiento, los posibles tipos de modelización de fuentes sísmicas, la evaluación de la peligrosidad sísmica con metodologías deterministas y probabilistas, la evaluación de la peligrosidad de ruptura superficial de falla y las características que han de tener los resultados de peligrosidad.

Los cinco documentos de apoyo desarrollan los siguientes aspectos: a) cálculo de peligrosidad sísmica con modelos de ruptura de falla, detallando las últimas metodologías desarrolladas en Japón y EEUU; b) cálculo de peligrosidad sísmica con modelos de sismicidad distribuida, proponiendo tanto métodos tradicionales zonificados como la tendencia más moderna no zonificada; c) selección de modelos de atenuación y cálculo de la respuesta local del terreno, dando pautas en ambos aspectos y haciendo especial hincapié en la necesaria consistencia entre ambos; d) observaciones en sondeos profundos y base de datos de efecto local, tecnología altamente novedosa con escasa experiencia fuera de Japón; y e) y determinación del potencial sísmico a partir de estudios paleosísmicos, en línea con las recientes tendencias de completar las bases de datos sísmicas con información paleosísmica.

1 INTRODUCCIÓN

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), de acuerdo con sus estatutos, está autorizado para establecer o adoptar normas y guías de seguridad nuclear.

Este conjunto de guías del OIEA reflejan un consenso internacional en materia de seguridad nuclear; estos documentos se dividen en tres grupos (Figura 1):

- Fundamentos de seguridad (*Safety Fundamentals*), conjunto de principios y objetivos fundamentales en materia de seguridad nuclear.
- Requisitos de seguridad (*Safety Requirements*), conjunto de requisitos que se deben cumplir para garantizar la seguridad, que responden a los principios y objetivos de los fundamentos de seguridad. A su vez se dividen en dos grupos según sean aplicables a todas o a alguna instalación o actividad nuclear concreta. Estos requisitos se expresan como lo que se “deberá” hacer.
- Guías de seguridad (*Safety Guides*), que proporcionan recomendaciones y guías para poder cumplir los requisitos de seguridad mencionados en el punto anterior. Estas guías reflejan lo que se considera código de buena práctica a nivel internacional y pretende ser una recopilación de las mejores prácticas. Estas recomendaciones se expresan como lo que se “debería” llevar a cabo. Al igual que los requisitos de seguridad se dividen en dos grupos, según afecten a todas o alguna instalación concreta (*General Safety Guides* y *Specific Safety Guides*).

La Guía de Seguridad Específica SSG-9 (OIEA, 2010) titulada “Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations”, se engloba en el tercer grupo, en concreto en el de *Specific Safety Guides*, y los requisitos de seguridad a los que responde se encuentran en el Requisito NS-R-3 (OIEA, 2003).

Existe otro tipo de documentos del OIEA que sirven de apoyo al conjunto de documentos descritos más arriba. De especial interés en este caso son los informes de seguridad (*Safety Reports*), que incluyen ejemplos prácticos y procedimientos metodológicos detallados que afectan de forma transversal a las recomendaciones y prácticas de las guías de seguridad. Otro tipo de documento es el TECDOC que recoge de manera ordenada material técnico de reuniones, congresos, workshops u otros foros, además de monografías detalladas sobre el estado del arte de temas específicos, o en algún caso resultados de contraste de metodologías (*benchmarks*), todo con el fin de diseminar el estado del conocimiento.

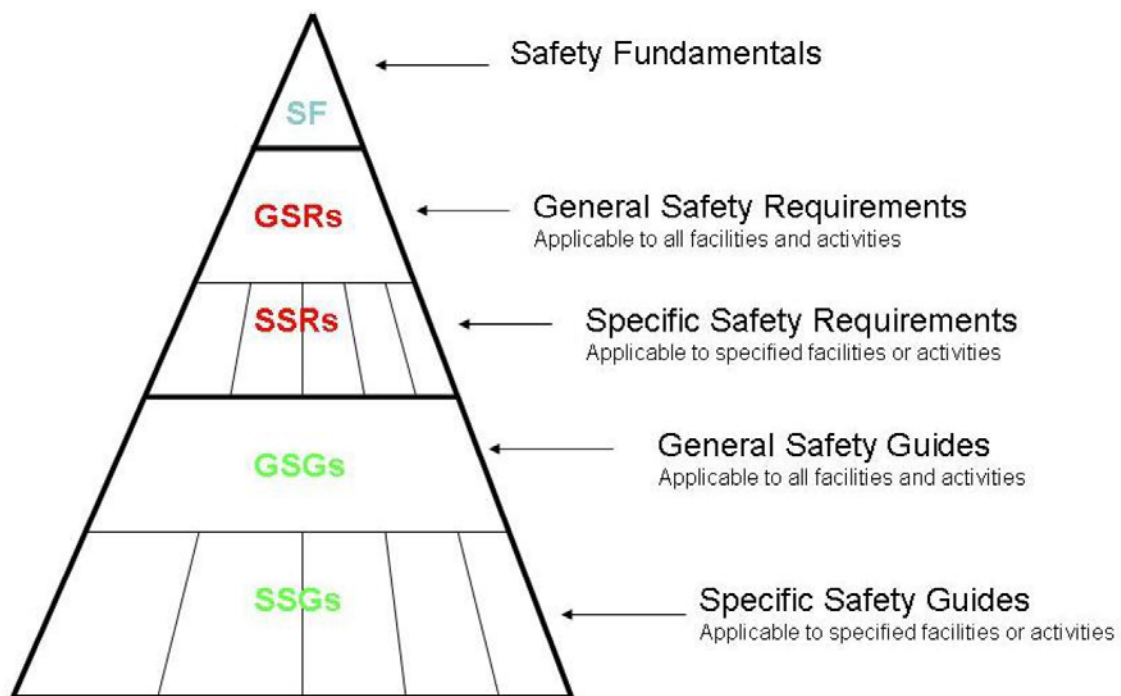


Figura 1 Categorías de las normas de seguridad del OIEA

La SSG-9 (OIEA, 2010), incorpora de forma detallada las prácticas aceptables más recientes en relación con la caracterización sísmica del emplazamiento, estando en proceso de edición cuatro de los cinco documentos de apoyo previstos (dos *Safety Reports* y tres TECDOCS) con los siguientes títulos provisionales:

- SRS/XX-1.1, “Ground Motion Simulation Based on Fault Rupture Modeling for Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations”
- SRS/XX-1.2, “Diffuse Seismicity in Seismic Hazard Assessment for Site Evaluation of Nuclear Installations”
- TECDOC/XX-1.1 “Ground Motion Prediction Equations and Site Response”
- TECDOC/XX-1.2 “Deep Borehole and Site Response Data Base”
- TECDOC/XX-1.3 “The Contribution of the Paleoseismology to Seismic Hazard Analysis”

2 CONTEXTO HISTÓRICO

En la última década han ocurrido varios sucesos externos que han afectado a diversas plantas nucleares. En la India el tsunami originado por el terremoto del 25 de diciembre de 2004 afectó a la CN Kalpakan. En Japón, el terremoto de agosto de 2005 llevó a parada automática la CN Onagawa, no hubo daños pero no había un procedimiento claro de reinicio, lo cual fue una primera motivación para iniciar el Extra Budgetary Project (EBP) en el OIEA; el terremoto de Niigata-ken Chuetsu-oki, en julio de 2007, excedió las bases de diseño de CN Kashivazaki-Kariwa, hecho que desencadenó definitivamente el lanzamiento del EBP por parte del OIEA, con los proyectos *Seismic Safety of Existing NPP* y *Protection of NPPs Against Tsunami and Post-Earthquake Considerations*.

Más recientemente, en Japón el terremoto de Tohoku del 11 de abril de 2011 afectó a las CC.NN. Fukushima Dai-ichi, Dai-dai, Tokay, Onagawa e Higashidori y en Estados Unidos, el terremoto de Virginia de agosto de 2011 hizo parar de forma automática a CN North Anna.

A la luz de estos hechos y en relación con la mejora de la seguridad nuclear, el propio OIEA y su normativa han sido renovados, proporcionando mayor visibilidad a la caracterización del emplazamiento y asumiendo más relevancia para el mismo en los procesos de licenciamiento de las CC.NN.

En paralelo con lo descrito más arriba, en 2008 se realizó un cambio organizativo con la creación dentro del OIEA del ISSC (*International Seismic Safety Center*) que asume las competencias de la anterior Safety Engineering Section.

Actualmente los antiguos proyectos iniciados en el marco del EBP están fusionados como ISSC-EBP, en el cual han participado los autores. Tras el accidente de CN Fukushima Dai-ichi este EBP pretende cubrir los objetivos enmarcados en el “Nuclear Safety Action Plan” de la Declaración de la Conferencia Ministerial sobre Seguridad Nuclear de 2011 que asume el informe “Fact Finding Mission to Fukushima” del OIEA.

3 DESCRIPCIÓN DE LA SSG-9

La guía de seguridad específica SSG-9 es una actualización de la NS-G-3.3 (OIAE, 2002) y responde a los requisitos de seguridad indicados por la NS-R-3 (OIEA, 2003) en relación a la acción sísmica, que se pueden resumir brevemente de la siguiente forma:

1. Caracterización geológica, geotécnica y geofísica.
2. Caracterización sísmica prehistórica, histórica e instrumental.
3. Construcción de un modelo sismotectónico.

4. Cálculo de peligrosidad sísmica incorporando incertidumbres.
5. Cálculo de peligrosidad de ruptura superficial de falla.

A diferencia de su predecesora, la SSG-9 se refiere a instalaciones nucleares (II.NN.), y no sólo a centrales.

La SSG-9 establece cuatro escalas de trabajo (300 km – 25 km – 5 km – 1 km) para completar con diferente alcance las bases de datos geológica, geotécnica y geofísica, de forma que aumenta el detalle requerido con la cercanía al emplazamiento. La distancia máxima de 300 km para la escala regional es el doble de la indicada en la versión anterior (OIEA, 2002), y para la base de datos sísmicos se consideran tres escalas temporales (prehistórica, histórica e instrumental). En esta temática se ha elaborado el tercer TECDOC sobre paleosismología del que se hablará en la sección 4.5.

Para la construcción del modelo sismotectónico, se distingue entre sismicidad asociada a fuentes sismogénicas conocidas, y sismicidad cuya fuente no es posible identificar con la base de datos disponible, llamada sismicidad difusa. En ambos casos se resalta la importancia de incorporar las bases de datos descritas más arriba y las incertidumbres asociadas. Una y otra sismicidad se tratan en sendos Safety Reports, que se describirán más abajo en las secciones 4.1 y 4.2 respectivamente.

Para la evaluación de la peligrosidad sísmica, se indica la preferencia de que se calcule tanto por el método determinista como por el probabilista.

La SSG-9 establece una definición de falla capaz (*capable fault*) que requiere considerar períodos geológicos mayores que los regulados hasta ahora, lo cual es importante en regiones con sismicidad baja-moderada. Para plantas nuevas indica que se reconsidere el emplazamiento si hay evidencia de que exista una tal falla capaz que pueda afectar la seguridad de la planta; y para plantas existentes, se propone la realización de un análisis de la probabilidad de desplazamiento superficial por ruptura de falla (*Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis – PFDHA*). Este punto se ha tratado en uno de los anejos del primer *Safety Report* (sección 4.1).

Por último la SSG-9, incluye como novedad un capítulo con recomendaciones sobre cómo se deberían elaborar las bases de diseño de la instalación nuclear, refiriéndose en concreto a los niveles de diseño, la consideración del efecto local y su consecuencia en los espectros de peligrosidad uniforme, la obtención de espectros de formato normalizado así como la generación de acelerogramas.

4 DOCUMENTOS TÉCNICOS DE APOYO

4.1 Safety Report sobre simulación de fallas

En relación con el análisis y tratamiento de la actividad sísmica conocida, la SSG-9 distingue entre la que puede asociarse a fallas conocidas y la actividad que no es posible asociar a ninguna fuente sísmica conocida una vez compilada la base de datos según indica la propia SSG-9. Este Safety Report se refiere al primer tipo de fuente sísmica.

Para caracterizar el movimiento fuerte del suelo, la SSG-9 destaca el empleo de la modelización de fallas, lo cual resultará posible en zonas con suficientes datos relativos a las fallas concernidas. En el párrafo 5.14 de la SSG-9 se da una guía general sobre cómo hacerlo; no obstante en el OIEA se estimó necesario complementarlo con directrices más concretas, motivo por el que se abordó este Safety Report.

En los cálculos de peligrosidad sísmica, la caracterización del movimiento fuerte del suelo se ha realizado tradicionalmente con modelos de atenuación (conocidos como GMPEs de *Ground Motion Prediction Equations*), consistentes en formulaciones analíticas ajustadas a partir de datos registrados. Sin embargo es complicado, o en algunos aspectos prácticamente imposible, que estos modelos incluyan ciertas características del movimiento, como por ejemplo los efectos de directividad, *flying step*, su transmisión desde el bedrock sísmico al geotécnico, u otros asociados a la orografía. En el terremoto $M_w = 7,0$ de Kobe (*Hanshin-Awaji Daishinsai*, Japón) se registraron efectos de directividad importantes, que alertaron sobre la necesidad de desarrollar su incorporación en la caracterización del movimiento fuerte. Otro ejemplo lo tenemos en la Península Ibérica con el terremoto $M_w = 5,1$ de Lorca de mayo de 2011.

El documento plantea la modelización de fallas en una doble vertiente: a) definir la falla como fuente de información de las características del movimiento fuerte inducido en un emplazamiento y b) emplear simulaciones para completar las bases de datos de los modelos de atenuación, en aquellos rangos de parámetros que no estén adecuadamente representados en la base de datos de la GMPE.

En este Safety Report se plantean cuatro metodologías, desarrolladas en el ámbito Norteamericano, Japonés, o en colaboración de ambos:

- Método estocástico (Boore, 1983), el más antiguo y simple, ampliamente empleado en EEUU y con cierta presencia también en Europa.
- Método determinista basado en el concepto de asperezas (*Asperity Source Model*), desarrollado en Japón hace una decena de años (Irikura et al, 2004).
- Método híbrido, que combina para diferentes frecuencias los dos métodos anteriores
- Modelo de fuentes compuestas (Zeng et al. 1994).

En el documento se incluyen algunos ejemplos prácticos y se describe la plataforma de acceso abierto SCEC desarrollada por una comunidad de más de 600 investigadores, con sede en la *University of Southern California*, que permite simular la ruptura de falla con varias metodologías que se validando con datos de terremotos registrados a medida que se va disponiendo de ellos.

4.2 Safety Report sobre sismicidad difusa

Como se ha explicado al principio de la sección 4.1, la SSG-9 distingue entre la actividad sísmica asociada a fallas conocidas y la que no es posible asociar a fuentes sísmicas conocidas. Este Safety Report se refiere al segundo tipo, a la que se denomina, de manera genérica, sismicidad difusa.

La guía comienza identificando los entornos sismotectónicos en los que puede existir sismicidad difusa y estableciendo los criterios a seguir al compilar el catálogo sísmico, para entrar a continuación en los aspectos metodológicos de determinación de la peligrosidad sísmica originada por la sismicidad no asociada a fuentes sísmicas conocidas.

Las opciones disponibles para modelizar las regiones con sismicidad difusa se clasifican en: a) modelos zonificados, basados en zonas 3D de la corteza terrestre con una generación uniforme de la sismicidad; b) modelos no zonificados que prescindan completamente de las zonas anteriores; y c) modelos híbridos que combinan las zonas con actividad no uniforme dentro de cada una de ellas.

La caracterización del movimiento fuerte del suelo puede resolverse bien con modelos de atenuación, para lo cual se referencia el TECDOC correspondiente (ver sección 4.3), bien mediante simulaciones, con parte de la metodología incluida en el *Safety Report* de simulación de fallas (sección 4.1).

La SSG-9 indica que el cálculo de peligrosidad sísmica se realice preferentemente de forma probabilista y determinista y que ambos resultados se analicen de manera conjunta. Estos dos métodos de cálculo, junto con las dos alternativas para la caracterización del movimiento fuerte del suelo proporcionan cuatro opciones de cálculo:

- Determinista con modelos de atenuación. El primero que surgió y que continúa empleándose en la actualidad.
- Probabilista con modelos de atenuación. Ampliamente utilizado actualmente.
- Determinista con simulaciones. Permite que las simulaciones se incorporen de forma más directa al cálculo de peligrosidad.
- Probabilista con simulaciones. Desarrollado recientemente por JNES (*Japan Nuclear Energy Safety*) actualmente integrada en la NRA (*Nuclear Regulation Authority*), del que se incluye un ejemplo práctico extenso, complementado con un anexo.

Un aspecto destacado de la SSG-9 es la especial atención que presta a las incertidumbres. Este Safety Report incluye una sección extensa sobre tipos de incertidumbres y su adecuada incorporación y tratamiento en el cálculo de la peligrosidad sísmica; se comentan también las diferencias que debe haber según se trate de un método probabilista o determinista.

Por último, se incluyen experiencias de varios países europeos, el caso de Estados Unidos y el japonés que se complementa con un apéndice. El conjunto es una muestra representativa de las tendencias actuales en el cálculo de la peligrosidad sísmica.

4.3 TECDOC sobre modelos de atenuación y efecto local

El documento se divide en dos partes: la primera se refiere a modelos de atenuación y la segunda a la consideración del efecto local en el cálculo de peligrosidad. El hecho de tratar en un mismo documento ambos temas supone en sí una novedad relevante, y uno de los puntos destacados del documento es el incluir una sección que establece cómo manejar ambos aspectos para que el resultado global guarde coherencia interna. Así, es necesario establecer la frontera hasta la cual el movimiento fuerte del suelo se obtiene con modelos de atenuación, y a partir de la cual se deduce el resultado mediante el estudio del efecto local. La continuidad ha de ser tal que no haya solapes ni aspectos sin tener en cuenta.

Los modelos de atenuación son una herramienta ampliamente empleada en los cálculos de peligrosidad. En este TECDOC se dan pautas para la correcta selección de un modelo de atenuación y se repasan las variables de las que suelen depender dando directrices para su correcta interpretación y, en su caso, la adaptación a las circunstancias particulares del sitio. De nuevo se resalta la importancia del correcto manejo de incertidumbres.

Adicionalmente se desarrolla la opción de adaptar los modelos de atenuación existentes a las características locales; una de las técnicas propuestas es la “*single-station sigma*”, empleada en el proyecto PEGASOS llevado a cabo recientemente para los emplazamientos nucleares suizos, así como la opción de completar la base de datos del modelo de atenuación con simulaciones de acuerdo con las técnicas indicadas en el Safety Report de simulación de fallas (sección 4.1).

En relación al efecto local, el TECDOC establece la base teórica del efecto local y las diferentes aproximaciones disponibles hoy en día desde el punto de vista de la consideración o no de los efectos no lineales y de la modelización en una, dos o tres dimensiones. Esta parte tiene una aproximación más bien teórica, y se trata de un tema a completar en un próximo EBP, en paralelo con el TECDOC sobre observación en sondeos profundos (sección 4.4).

4.4 TECDOC sobre tecnología y observación de datos en sondeos profundos y base de datos de efecto local

Con este documento TECDOC se pretende diseminar entre los países con CC.NN. los métodos de investigación de la estructura profunda, la tecnología de observación asociada, y los correspondientes métodos de evaluación y análisis. Las actividades de observación y análisis se iniciaron a finales de 2010 y todavía no han finalizado, lo cual ha provocado el retraso de este documento.

El terremoto con $M_w = 6,8$ de Niigata Chuetsu Oki del 16 de julio de 2007, excedió entre dos y cinco veces la base de diseño calculada para la CN Kashiwazaki Kariwa. La evaluación realizada concluyó la necesidad de caracterizar en 3D la distribución de la velocidad de ondas de cortante (V_s) de los materiales existentes entre el sustrato (*bedrock*) sísmico ($V_s \approx 3$ km/s) y la superficie del emplazamiento, así como la previsión de extender al resto de emplazamientos japoneses el desarrollo tecnológico asociado.

Para abordar esta forma de caracterización de emplazamientos, que supone un avance novedoso respecto de la aproximación clásica de cálculo de la amplificación sísmica local (efecto sitio), se han elegido Tottori y Kashiwazaki como emplazamientos representativos de sitios japoneses con roca dura y roca blanda en superficie, realizándose sendos sondeos hasta la profundidad de 1 y 3 km respectivamente, con observación en superficie y a varias profundidades. La estructura 3D del sustrato profundo se ha definido con reconocimientos geofísicos realizados a varias escalas y parametrizados con la testificación geofísica de los sondeos. También se ha desarrollado un sistema de observación, que incluye instrumentación específica capaz de operar con temperaturas y presiones extremas, que pueden llegar a 150° C y 40 MPa respectivamente.

4.5 TECDOC sobre paleosismicidad

En el marco de las actividades de evaluación/revaluación de las II.NN., la guía SSG-9 recoge que el reconocimiento paleosísmico del terreno resulta de gran importancia en el cálculo de la peligrosidad sísmica. Este TECDOC proporciona recomendaciones y expone prácticas actualmente conocidas y disponibles, para realizar los trabajos de investigación paleosísmica necesarios y completar de forma adecuada la base de datos sismotectónica.

Los principales objetivos que pretende esta puesta en valor de la Geología en relación con la Seguridad Nuclear son los ya recogidos en la SSG-9:

- Identificación de estructuras sismogénicas a partir del análisis de los efectos sísmicos existentes en el registro geológico y asociados con terremotos moderados a fuertes ocurridos en tiempos prehistóricos.
- Completar el catálogo de terremotos fuertes/moderados mediante la identificación y datación de los terremotos prehistóricos.
- Estimar el terremoto máximo potencial asociado con estructuras sismogénicas, a partir del desplazamiento por evento medido en zanjas paleosísmicas, y/o la observación de características geomorfológicas y estratigráficas interpretables como efecto acumulado de eventos sísmicos repetidos (concepto de ‘paisaje sísmico’).
- Aportar una comprobación realista que sea útil para calibrar los cálculos de peligrosidad sísmica, a partir del intervalo de ocurrencia observado en terremotos fuertes/moderados.

El documento recoge prácticas metodológicas para ser utilizadas en la investigación ‘on-fault’ (análisis paleosísmicos de trincheras de falla y efectos ambientales cosísmicos -*Earthquake Environmental Effects* - EEE- primarios), y ‘off-fault’ (análisis de los EEE secundarios). El reconocimiento y la clasificación de los EEE primarios y secundarios se basa en la Escala de

Intensidad Sísmica Ambiental (ESI-07, Michetti et al, 2007), cuya aplicación pretende parametrizar el tamaño de los terremotos sobre la base de los efectos ambientales asociados.

Se describen procedimientos para realizar trincheras de falla, obtener la estratigrafía y las relaciones estructurales entre horizontes deformados, así como el procedimiento de datación y caracterización del tamaño de los eventos asociados a estructuras tectónicas conocidas. El documento también proporciona herramientas para el análisis de regiones con sismicidad difusa, a partir de la observación de EEE secundarios (licuefacción, deslizamientos, tsunamis, etc.). Por su importancia para la seguridad nuclear, las investigaciones geológicas sobre tsunamis prehistóricos se describen en una sección específica. El alcance de las actividades de paleosismicidad recomendadas son consistentes con las escalas de trabajo regional, regional cercana, vecindad y local, consideradas en la SSG-9.

El documento también recoge una visión actualizada útil para los Análisis de Peligrosidad Sísmica, mediante la consideración de incertidumbres, la revisión crítica de las correlaciones desarrolladas entre los parámetros de la falla y la magnitud del terremoto, y disseminando las bases de datos de fallas y paleosísmicas existentes, incluida las de EEE, así como la escala ESI-07; que en conjunto permitirán parametrizar y caracterizar eventos históricos y prehistóricos. En una sección final, el documento recoge varios ejemplos de investigaciones paleosísmicas llevadas a cabo en relación con cálculos de peligrosidad sísmica realizados para II.NN.

5 CONCLUSIONES

La Guía de Seguridad Específica SSG-9 (OIEA, 2010), que sustituyó a la anterior NS-G-3.3 (OIAE, 2002) y que responde a los requisitos contenidos en NS-R-3 (OIEA, 2003) presenta diferencias relevantes con respecto a su predecesora, en buena medida motivadas por diferentes experiencias y lecciones aprendidas en varios eventos sísmicos que han afectado a II.NN. principalmente en Japón y Estados Unidos.

Una vez publicada la SSG-9, se decidió reforzar algunas de las recomendaciones con documentos de apoyo, dentro del marco de guías de seguridad del OIEA. En concreto se han planteado cinco documentos, uno de ellos se ha decidido retrasarlo, y los cuatro restantes se encuentran ya redactados y en diferentes estados de revisión.

Se citan a continuación las características más relevantes de la SSG-9 y de sus documentos de apoyo:

- La guía de seguridad y sus documentos de apoyo se refieren a instalaciones nucleares, y no sólo a centrales como ocurría hasta la versión anterior.
- Las incertidumbres reciben una especial atención, además de en la propia SSG-9, en los dos Safety Report se hace una descripción detallada de los tipos existentes y sus respectivas formas de incorporación a los cálculos.
- Para la modelización del movimiento fuerte del suelo se proponen los modelos de atenuación tradicionales así como las simulaciones, unos y otros combinables con aproximaciones probabilistas y deterministas.
- Se resalta la complementariedad que debe existir entre la modelización del movimiento fuerte y los estudios de efecto local.
- El documento relativo a la tecnología y observación de datos en sondeos profundos se ha aplazado debido a que las campañas de observación en dos sondeos realizados en Japón no dispone todavía de suficientes datos para sacar conclusiones.
- La guía SSG-9 recoge que el reconocimiento paleosísmico del terreno resulta de gran importancia y utilidad para abordar un cálculo de peligrosidad sísmica.

A la luz de estos hechos y en relación con la mejora de la seguridad nuclear, puede concluirse que el propio OIEA y su normativa han sido renovados, proporcionando mayor visibilidad a la caracterización del emplazamiento y asumiendo más relevancia para el mismo en los procesos de licenciamiento de las ILNN.

REFERENCIAS

Boore, D. M. (1983) “Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra” *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 73, No. 6, pp. 1865-1894.

Graves, R. W. and Pitarka, A. (2004) “Broadband time history simulation using a hybrid approach” *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, Paper No. 1098.

Graves, R. W., Pitarka, A. (2010) “Broadband ground motion simulation using a hybrid approach” *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 100, pp. 2095-2123.

Irikura, K., Miyake, H., Iwata, T., Kamae, K., Kawabe, H. and Dalguer, L. A. (2004) “Recipe for predicting strong ground motion from future large earthquake” *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, No. 1371.

Michetti A. M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S. E., Serva, L., Tatevossian, R., Vittori, E., Audemard, F., Asuma, T., Clague, J., Commerci, V., Gürpınar, A., McCalpin, J., Mörner, N.A., Ota, Y., Roghazin E. (2007). *Intensity Scale ESI-2007. Memorie Descrittive Della Carta Geologica D'Italia*, 74. APAT, SystemCart Srl, Roma, Italia.

OIEA - Organismo Internacional de Energía Atómica (2002) “Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants”, Safety Guide No. NS-G-3.3, IAEA Safety Standards Series.

OIEA - Organismo Internacional de Energía Atómica (2003) “Site Evaluation for Nuclear Installations”, Safety Requirements No. NS-R-3, IAEA Safety Standards Series.

OIEA - Organismo Internacional de Energía Atómica (2010) “Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations”, Specific Safety Guide No. SSG-9, IAEA Safety Standards.

Zeng, Y., Anderson, J. G., Yu, G. “A composite source model for computing realistic synthetic strong ground motions” *Geophysical Research Letters*, Vol. 21, 725-728.