

*Be Prepared For  
The Unpredictable Largest Earthquake*



## **DECLARACIÓN SOBRE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO Y MEDIDAS A TOMAR EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN VISTAS A LA SEGURIDAD PÚBLICA**

**International Seismic Safety Organization (ISSO)**

**Date of Issue: August 6, 2012**

### **Resumen**

En vista a los enormes daños causados por los recientes grandes terremotos y fenómenos relacionados con ellos, como por ejemplo, el terremoto y tsunami de Sumatra en 2004, el terremoto de Wenchuan, China en 2008, el de Haití en 2010 y el terremoto y tsunami de Tohoku, Japón en 2011, se ha hecho necesaria la revisión de los criterios para la evaluación del riesgo sísmico y las medidas a tomar para la construcción antisísmica. Para evitar este tipo de catástrofes, las estructuras deben diseñarse y construirse de forma que resistan el terremoto de mayor tamaño, denominado como el Terremoto Máximo Creíble (en inglés: Maximum Credible Earthquake, MCE), que incluya y aún exceda los mayores terremotos históricos sucedidos. Por lo tanto, se debe avisar y preparar al público con antelación para la posible ocurrencia de un suceso semejante. Estos terremotos (MCE) son los más destructivos y peligrosos en una región y pueden suceder en cualquier momento, a pesar de su muy baja frecuencia o gran intervalo de tiempo entre su ocurrencia. Por lo tanto, la evaluación del riesgo sísmico y los criterios de construcción antisísmica deben tener en cuenta la ocurrencia de este tipo de sucesos definidos como MCE. La política administrativa para estas situaciones de emergencia deben considerar también los escenarios de la ocurrencia de posibles MCE.

El tradicional Análisis Determinista de Riesgo Sísmico (en inglés: Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) que utiliza el concepto de MCE se ha usado con éxito para determinar los diseños antisísmicos en California desde los años 1970 hasta el presente. Su nueva y mejorada versión, la neo-DSHA (NDSHA), publicada en 2001 para Italia, ha demostrado ser un método fiable al comparar sus estimaciones con los datos actuales para los terremotos más recientes del Norte de Italia en Mayo del 2012. Por lo tanto, el análisis DSHA o NDSHA debe ser utilizado en las políticas de medidas de seguridad pública y para la determinación de los criterios de construcción antisísmica.

El extendido uso del Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (en inglés: Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) se considera, por lo tanto, inaceptable para las políticas de seguridad pública en caso de terremotos y la determinación de criterios de diseño antisísmico por las siguientes razones:

(1) Muchos terremotos recientes destructivos han superado los niveles del movimiento del suelo estimados por el PSHA y que aparecen representados en los mapas globales de riesgo sísmico

calculados de acuerdo con esta metodología. De hecho, de esta forma, el riesgo sísmico ha sido subestimado.

(2) Por el contrario las estimaciones del movimiento del suelo en el caso de centrales nucleares, basadas en el más alto nivel del PSHA (e.g., emplazamiento de Yucca Mountain en USA y emplazamientos en Europa para proyecto PEGASOS) resultan desproporcionadamente altas, como es bien conocido. En este caso, el riesgo sísmico es sobreestimado.

(3) Varias publicaciones recientes han identificado fallos fundamentales en el PSHA (e.g., incorrecciones matemáticas y presupuestos inválidos) y mostrado que sus resultados son creaciones numéricas que no corresponden a una realidad física. En consecuencia, el riesgo sísmico queda estimado de forma incorrecta.

Los puntos mencionados se refieren a problemas inherentes a la metodología misma del PSHA que indican que los resultados no son fiables, ni consistentes, ni físicamente significativos. Por otro lado el DSHA produce resultados que son consistentes, realistas y significativos que han sido establecidos por una extendida práctica. Por lo tanto, es esencial que se adopte el DSHA y su mejorada versión el NDSHA para las políticas de seguridad pública y diseño antisísmico de estructuras.

Las fuentes sísmicas que tienen un mayor impacto en un emplazamiento deben ser utilizadas para el diseño de edificios públicos y estructuras singulares. Estas fuentes deben ser usadas también para los planes de emergencia de una región concreta. Estas consideraciones reducirán el riesgo de una destrucción extendida y de pérdida de vidas humanas en un futuro terremoto y deben ser usadas en todos los casos críticos para preservar la seguridad pública.

Los casos críticos incluyen situaciones en las que las consecuencias de un fallo (i.e., riesgos) son demasiado costosas e intolerables, como se ilustra con algunos ejemplos más adelante.

### **Evaluación y comunicación de la peligrosidad y el riesgo**

El “nivel” de riesgo está directamente relacionado con la “intensidad” de un suceso peligroso cuando se fijan todos los demás factores. El suceso peligroso cuando es estimado en un escenario realista de terremotos como es la magnitud del MCE, automáticamente considera todo el potencial de peligrosidad que puede ser desencadenado y su aplicación garantiza la seguridad pública y la integridad de las estructuras

La determinación de la magnitud del MCE es independiente o invariable en el tiempo y las estimaciones de su magnitud son a la vez robustas y fiables, como lo ha demostrado su continuo uso en California desde los años 1970 hasta el presente. Esta metodología tiene muchas ventajas sobre la del PSHA para determinar el diseño antisísmico, porque no depende de los intervalos de recurrencia o de los periodos de retorno y se puede aplicar para cualquier tipo de diseño, coste o vida útil de estructuras.

Se debe tener en cuenta que, cuando ocurre un terremoto de cierta magnitud, se produce una peligrosa agitación del suelo que es independiente de si el suceso es raro o no. Por lo tanto, los

parámetros de la peligrosidad del movimiento del suelo para la mitigación del riesgo no deben adaptarse en escala por el nivel alto o bajo de la frecuencia de la ocurrencia de los terremotos (irregularidad, falta de periodicidad, etc.), sino que debe utilizarse un escenario realista de ocurrencia de terremotos tal como el del MCE, basado en el análisis de la sismicidad histórica, las áreas propensas a terremotos y la presencia de fallas sismo-genéticas identificadas por análisis morfo-estructurales.

Las peligrosidades de los emplazamientos producidas por terremotos originados por fuentes sísmicas son discretas y se pueden comparar entre sí para determinar las fuentes que los producen. Por lo tanto, en aplicaciones para la determinación de las fuentes reguladoras debe usarse la comparación (no la suma) de las peligrosidades sísmicas de las distintas fuentes.

El análisis del riesgo sísmico debe ser claro y físicamente comprensible, sin innecesaria complejidad. Esto es importante no solo por el análisis mismo, sino también para poder comunicar de una manera efectiva la información del riesgo a los usuarios e instancias responsables. Los resultados deben ser usados siempre con sensatez profesional.

Cuando un análisis científico no es concluyente, por ejemplo, la determinación de si unos terremotos presentes son o no premonitores de un posible próximo terremoto principal, la evaluación de la peligrosidad debe “siempre” mantenerse en el lado conservador, como precaución de la seguridad pública. Esta es una obligación y política no-negociable desde el punto de vista antropocéntrico y de coste-beneficios.

Siempre serán más costosas las consecuencias de muchas muertes que las implicadas en los avisos y la preparación ante un posible terremoto “principal”, aun en el caso de que no suceda. Este fue el caso del terremoto de Abril 2009 en L’Aquila (Italia) cuando el público pudo haber sido avisado y preparado ante un terremoto cuya ocurrencia no podía ser excluida y que de hecho sucedió y en el que hubo muchas víctimas.

Por lo tanto, esta debe ser la regla operativa para los avisos al público, sin causar alarma, y para estar alerta y preparados ante la posibilidad del terremoto potencial más grande. El uso de un intervalo grande o una frecuencia baja como argumento para considerar un terremoto como “improbable” puede llevar a un sentido falso e injustificado de seguridad. Como lo han demostrado los terremotos de L’Aquila y Tohoku, la baja probabilidad asociada a su ocurrencia no impidió que sucedieran con sus bien conocidas desastrosas consecuencias.

Sería mucho más prudente para la sociedad pagar el modesto incremento de coste o sufrir las inconveniencias de la preparación para las consecuencias de un eventual terremoto MCE, que sufrir las irreparables pérdidas sufridas por haber ignorado o subestimado la ocurrencia de potenciales sucesos catastróficos. Esta actitud es racional y razonable para una sociedad consciente cuando las consecuencias de los fallos (i.e., riegos) son demasiado costosas e intolerables.

La comunicación al público de la información sobre la evaluación de la peligrosidad y el riesgo debe de ser clara y significativa para que puedan tomarse las medidas necesarias. Esto podrá hacerse adecuadamente utilizando la evaluación del riesgo basada en el DSHA o NDSHA que aporta un análisis comprensible, transparente y físicamente consistente. Por el contrario, los

análisis basados en el PSHA son problemáticos al ser puramente numéricos y abstractos y que no pueden relacionarse con la realidad física.

Sin embargo, no pueden evitarse fallos en el aviso de emergencias que se podrán mejorar con la experiencia y nuevas tecnologías.

### **Algunos ejemplos recientes en favor del uso del método DSHA o NDSHA**

#### **1. Terremoto de L'Aquila, Italia: 6 de Abril 2009 (M6.3)**

El encausamiento de la Comisión Italiana de Grandes Riesgos (Commissione Grandi Rischi, CGR) por las muertes y gran destrucción resultante del terremoto de moderada magnitud (6.3) de L'Aquila, no fue debido a “el fallo en predecir el terremoto”, como ha circulado ampliamente por ciertas importantes organizaciones, sino por la errónea comunicación del riesgo asociado y la subestimación de la peligrosidad de su ocurrencia. Aunque era ya conocida la muy alta peligrosidad sísmica en L'Aquila, la CGR concluyó que era “improbable” la ocurrencia de un gran terremoto, pasando por alto y aún en contradicción directa y traición científica de su conocimiento.

Es inaceptable que se repitan estas situaciones. Aunque sea grande el intervalo de recurrencia de un terremoto grande, las consecuencias de su posible ocurrencia deben ser siempre consideradas. Específicamente sea éste (a) el terremoto más grande que se espera, (b) el más fuerte que se puede científicamente evaluar o (c) por lo menos, el tamaño del terremoto más grande que ha sucedido en el pasado. El riesgo debido a tales sucesos debe ser comunicado al público para su apropiada consideración.

Si se hubiera usado el análisis de riesgo para esta región basado en la metodología de NDSHA, que ya existía desde el año 2000, usando la magnitud del MCE para la fuente del terremoto de L'Aquila (a partir de nuestros conocimientos de la geología regional, la sismicidad histórica y el análisis morfo-estructural) se hubiera ayudado a reducir considerablemente el desastre humanitario sucedido.

#### **2. Terremoto de Tohoku, Japón: 11 de Marzo 2011 (M9)**

La central nuclear de Fukushima sufrió daños espectaculares debido al tsunami con olas de hasta 14 metros de altura generadas por el gran terremoto de la zona de subducción. La central y sus defensas estaban diseñadas para un terremoto de magnitud máxima  $M = 8.5$  y tsunami de 5.2 metros de altura. Sin embargo, en las costas del este de las islas de Japón se tenía conocimiento de tsunamis que afectaron alturas de hasta 40 metros como este caso y el de otros terremotos históricos. Por lo tanto, la probabilidad o frecuencia de terremotos usada hasta ahora no sirve para la adecuada evaluación del tamaño de un semejante terremoto y de esta manera resulta en una subestimación del riesgo. El uso del terremoto más grande que puede ser estimado científicamente debería haber sido aplicado para el diseño de la central nuclear para evitar o reducir desastres potencialmente catastróficos como el experimentado en este caso.

Si se hubiera utilizado de antemano en la evaluación del riesgo un MCE de magnitud  $M9+$  y su correspondiente asociado tsunami para el diseño de la central nuclear esto hubiera ayudado definitivamente a reducir de forma considerable los daños causados por este gran terremoto. Es razonable, por lo tanto, para asegurar la seguridad pública y económica para este tipo de

estructuras críticas usar una evaluación prudente del riesgo sísmico como la basada en la metodología de DSHA o NDSHA.

### **3. Terremoto de Emilia Italia: 20 de Mayo 2012 (M5.9)**

El mapa de peligrosidad de acuerdo con PSHA, sobre el que se basa el código italiano de construcción antisísmica, asigna para el área epicentral de este terremoto la tercera categoría con una aceleración pico del suelo en roca (PGA)  $<0.175g$ . En contra, el mapa de acuerdo con NDSHA, publicado por primera vez en 2001, asigna valores de la aceleración pico del suelo en roca para este área entre  $0.15g$  y  $0.30g$  lo que está de acuerdo con el valor observado en este terremoto de  $0.25g$ . Esto indica que el mapa basado en NDSHA es superior y más realista y ofrece una base mejor para el desarrollo del código de construcción en Italia y en otras zonas sísmicas del mundo.

Se debe tener en cuenta en este caso que la serie de terremotos de magnitudes 5 y mayores que sucedieron el 29 de Mayo en la misma área fueron aún más dañinos y destructivos que el mismo terremoto del 20 de Mayo. Esto fue debido, posiblemente, a que las estructuras estaban ya debilitadas por el terremoto principal, a la hora en que ocurrieron las réplicas y a las diferentes posiciones de los hipocentros.

### **Conclusiones**

Para mantener la seguridad pública y asegurar el diseño de estructuras que aguanten futuros terremotos y en las políticas de la gestión de emergencias y en el diseño antisísmico, se debe utilizar la peligrosidad generada por el terremoto MCE, que excede todo otro terremoto, basado en la metodologías DSHA y NDSHA. El método DSHA es transparente robusto y tiene ya una relativa larga historia de rendimiento fiable.

Hay razones convincentes que justifican que la evaluación de la peligrosidad sísmica basada en el PSHA es inaceptable para establecer políticas de seguridad pública y determinar el diseño antisísmico. El PSHA produce resultados inconsistentes y es el resultado de un cálculo numérico sin una base física. Por el contrario DSHA y NDSHA producen resultados consistentes y realistas.

El DSHA y NDSHA son transparentes y se pueden comunicar al público de forma clara y que se puede entender, mientras el PSHA es complejo, abstracto, no transparente y difícil de comunicar al público. .

El NDSHA ha demostrado su fiabilidad y superioridad sobre el PSHA en el reciente terremoto de 2012 en el norte de Italia, y ofrece una base mejor para desarrollar un código de construcción antisísmica para Italia y otras regiones sísmicas del mundo.

Fallos en los avisos de emergencias son inevitables, pero los sistemas pueden mejorarse con la experiencia y las nuevas tecnologías.

**Nombres (orden alfabético) de particulares y países de la  
International Seismic Safety Organization (ISSO)**



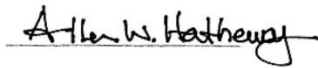
**Firma**

Benedetto De Vivo  
Professor of Geochemistry, Dept. of Earth Sciences  
University of Naples Federico II  
ITALIA  
Adjunct Professor - Department of Geosciences  
Virginia Polytechnic Institute & State University (Virginia Tech), Blacksburg, Virginia  
USA  
Chief Editor of Journal of Geochemical Exploration;  
Associate Editor of Mineralogy and Petrology;  
Fellow of the Mineralogical Society of America;  
Southern Europe Councillor of the Association of Applied Geochemists (AAG)



**Firma**

Indrajit K. Ghosh  
Structural Design Engineer  
USA



**Firma**

Allen W. Hatheway  
International Consultant on Geological Site-Risk Engineering;  
Professor of Geological Engineering (retired)  
Missouri University of Science & Technology, Rolla  
USA



**Firma**

Dr.-Ing. Jens-Uwe Klügel  
Member, Seismological Society of America;  
Nuclear Engineer & Risk Analyst, Frick  
SUIZA



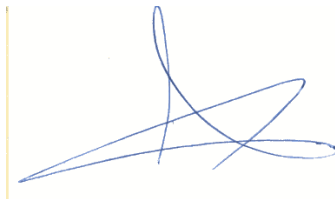
**Firma**

Vladimir G. Kossobokov  
Vice President, International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) *GeoRisk* Commission  
(IUGG Commission on Geophysical Risk and Sustainability)  
Chief Scientist and Professor  
Institute of Earthquake Prediction Theory and  
Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow  
FEDERACIÓN RUSA  
Institut de Physique du Globe de Paris  
FRANCIA



**Firma**

Ellis L. Krinitzky  
Senior Research Scientist, Geosciences, Emeritus  
Engineer Research and Development Center  
US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi  
USA



**Firma**

Dr. Efraim Laor  
Founder & Senior Lecturer, Masters' & Ph.D. Program in  
*Confronting Large-Scale-Sudden-Disasters [LSSDs]*, University of Haifa;  
Former Chairperson, Govt. of Israel Steering Committee for Disaster Reduction, Jerusalem;  
Chairman, Fast Israeli Rescue & Search Team (F.I.R.S.T.)  
ISRAEL

Team Member, United Nations Disaster Assessment and Coordination (UNDAC) and  
Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), Field Coordination Support  
Section (FCSS), Geneva  
SUIZA



**Firma**

Alessandro Martelli

Director, Bologna Research Centre of Italian National Agency for New Technologies,  
Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Bologna;  
Coordinator, promotion, transfer and technological development activities,  
Northern Italian ENEA Centres, Bologna;  
President, Isolation and Other Anti-Seismic Design Strategies (GLIS);  
Founding President and present Vice-President, ASSISi);  
Professor, PhD School on  
*Civil Engineering, Environment and Territory, Building and in Chemistry*, Polytechnic of Bari;  
ITALIA



**Firma**

Lalliana Mualchin

Chief Seismologist (retired),  
California Dept. of Transportation  
USA

Former Visiting Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University  
JAPÓN





**Firma**

Giuliano Panza

Beno Gutenberg Medalist of the European Geophysical Society;  
Professor of Seismology & Head of Structure and Non-Linear Dynamics of the Earth Group,  
University of Trieste & The Abdus Salam International Centre of Theoretical Physics;  
Linceo Prize, Accademia Nazionale dei Lincei;

ITALIA

Honorary professor Institut of Geophysics China Earthquake Administration, Beijing  
CHINA

Project Leader, Several International Lithosphere Program (ILP), United Nations Educational,  
Scientific and Cultural Organization (UNESCO)-International Union of Geological Sciences  
(IUGS)-International Geoscience Programme (IGCP), North Atlantic Treaty Organization  
(NATO), Italian Ministry of Foreign Affairs (MAE) and European Union (EU) projects dealing  
with seismic hazard assessment and geodynamics



**Firma**

Antonella Peresan

Research Scientist, Dept. Geosciences and Structure and Non-Linear Dynamics of the  
Earth Group,  
University of Trieste & The Abdus Salam International Centre of Theoretical Physics  
ITALIA



**Firma**

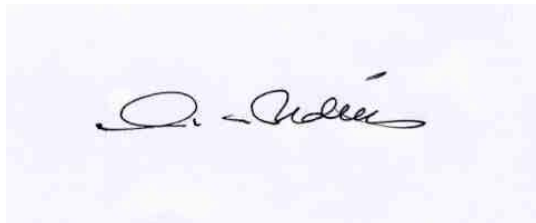
Mark R. Petersen

Consulting Geotechnical Engineer and Engineering Geologist  
USA



**Firma**

Francesco Stoppa  
Director, Geological Risk Mitigation School (SISMA) and  
Full Professor of Geochemistry and Volcanology,  
Earth Science Dept., Gabriele d'Annunzio University, Chieti  
ITALIA



**Firma**

Agustín Udías  
Professor Emeritus  
Department of Geophysics and Meteorology, Universidad Complutense, Madrid  
ESPAÑA