Sismo de Haití: aspectos sismológicos

Andrés José Alfaro Castillo*, Rene van Hissenhoven, S.J.**

Recibido: 20 de enero de 2010
Aceptado: 1° de marzo de 2010

Resumen

Como lo plantea Saavedra (1996), la catástrofe desnuda las vulnerabilidades de la sociedad latentes desde antes del fenómeno físico. En el caso de Haití, la crisis sísmica del 12 de enero de 2010 puso al descubierto la enorme vulnerabilidad cultural, política, física y socioeconómica del país. En este artículo se presentan los datos sismológicos del evento principal y de sus réplicas, se presenta una aproximación probabilista de la amenaza sísmica de Puerto Príncipe, en la que se evidencia una carencia de información instrumental. Se presenta una evaluación seudodeterminista a partir de las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994) y de Stirling et ál. (2002). Finalmente se presenta una discusión y conclusiones.

Palabras clave: Puerto Príncipe, Haití, sismo, vulnerabilidad, análisis probabilístico, incertidumbres.

Haiti earthquake: seismological issues

Abstract

Following Saavedra (1996) the catastrophe shows society vulnerabilities, which are present before the physical event. In Haiti case, the January 12th 2010 seismic crisis showed the huge cultural, political, physical and socioeconomic vulnerability of the country. In this short note are described the technical data of main shock and aftershocks, also it shows a preliminary probabilistic hazard seismic assessment of Port au Prince, which evidences a lack of instrumental data. A pseudo deterministic assessment using Wells and Coppersmith (1994) and Stirling et al (2002) approaches are used. Finally a discussion and some conclusions are presented.

Keywords: Port au Prince, Haiti, Earthquake, Vulnerability, PSHA, uncertainties.

* Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana. Máster en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona-España. Especialista en Sismología, Ingeniería Sísmica y Mitigación de Desastres, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tsukuba-Japón). Jefe Sección Geofísica Ingetec S.A. Profesor Ingeniería Civil, Universidad de La Salle. Investigador del CIEES. Correo electrónico: alfaro@ciees.org

** Filósofo y Teólogo, Pontificia Universidad Javeriana. Geofísico. Especialista en Sismología, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tsukuba-Japón). MSc en Geofísica, Weston Collage, Boston. PhD. en Geofísica, Universidad de Wisconsin, Madison. Consultor en Geofísica. Afiliación: Compañía de Jesús.

Introducción

El 12 de enero de 2010 a las 21:53:10 UTC se presentó un sismo con magnitud Mw de 7,1 (Hurukawa, 2010) que causó más de 270.000 muertos en Puerto Príncipe, colapsó la ciudad y el funcionamiento del país. Este artículo presenta una recopilación de la información geológica y sismológica disponible. En el caso geológico la estimación de Manaker et ál. (2008) de la posibilidad de un evento con magnitud Mw de 7,2, si se liberara toda la energía elástica acumulada en la falla Enriquillo. Se presenta una evaluación seudo-determinista a partir de las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994) y de Stirling et ál. (2002). A continuación se presenta una evaluación probabilista de la amenaza sísmica de la ciudad, en la que se evidencia la falta de datos históricos e instrumentales. Debido a la especie de avalancha de información con respecto al sismo que aparece en los medios, especialmente en Internet, la mayor parte de la utilizada en este artículo proviene de instituciones de amplia trayectoria en el campo, como son el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el Centro Sismológico Internacional (ISC), Centroid Moment Tensor Project (CMT), el American Geophysical Union (AGU), The American Society of Seismology y el International Institute of Seismology and Earthquake Engineering.

Metodología

A continuación se presentan los datos utilizados y la metodología usada para las evaluaciones determinista y probabilista de la amenaza sísmica en Puerto Príncipe.

Aspectos geológicos

De acuerdo con Manaker et ál. (2008) la falla Enriquillo es la segunda mayor en la isla de La Española. Es una falla de desgarramiento vertical con movimiento siniestro-lateral, paralela al borde de la Placa Caribe. Está particularmente bien expuesta en Haití, donde define un valle estrecho de 200 km en dirección este-oeste a lo largo de la península del sur (Mann et ál., 1998). Su localización está identificada localmente en superficie y subsuperficialmente mediante datos de refracción sísmica (Mann et ál., 1995, 1999). Es continua al oeste con la falla Plantain Garden en Jamaica, la cual marca el límite sur de la parte este de la depresión Cayman, algunas veces referenciada como la placa CONAVE (DeMets y Wiggings, 2007). La falla Enriquillo finaliza abruptamente en la parte central del sur da la isla La Española y se conecta mediante un bajo ángulo al extremo oeste de la depresión Muertos (Mauffret y Leroy, 1999). Sismos históricos han afectado poblaciones al sur de La Española en los siglos XVII; XVIII y XIX, insinuando que ellos ocurrieron en la falla Enriquillo. Sin embargo, hasta el evento del 12 de enero de 2010 no había un estimativo geológico de la tasa de movimiento anual para la falla Enriquillo.

Manaker et ál. (2008) modelaron la falla Enriquillo vertical, con origen al este de Jamaica, tendiendo del este al sur de La Española y finalizando en una transición con la depresión Muertos. Esta transición fue simplificada, toda vez que hay un número de fallas con tendencia noroeste identificada en superficie cerca del final de la falla Enriquillo (figura 1).

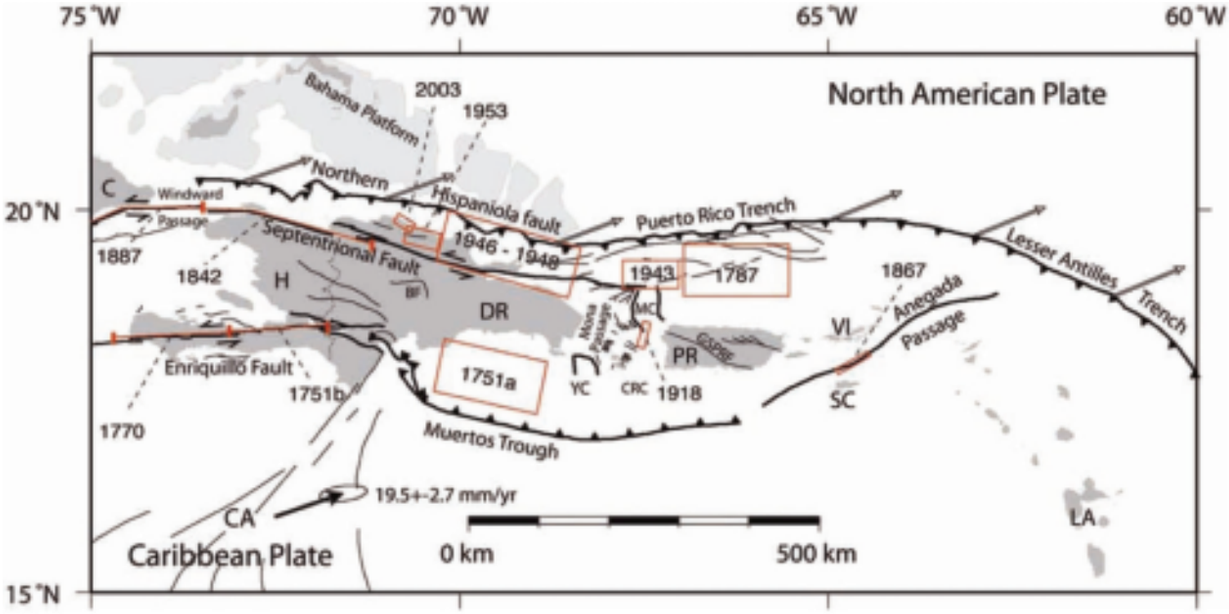

Figura 1. Rasgos geológicos más importantes en Haití y alrededores

Nota: los grandes sismos desde 1564 tienen un recuadro rojo, que representa la zona de ruptura. Los trazos rojos muestran las rupturas hipotéticas planteadas por Manaker et ál. (2008).

De acuerdo con la modelación de Manaker et ál. (2008) la falla Enriquillo era capaz de generar un sismo con magnitud Mw de 7,2 si la deformación elástica acumulada desde el último sismo se liberara en un único evento. Lamentablemente ocurrió así.

Utilizando las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994) se podían haber estimado las magnitudes con las ecuaciones 1 y 2.

Falla de desgarramiento:
Mw = 5,16 + 1,12 Log (longitud de la ruptura superficial en kilómetros) (1)

Falla de desgarramiento:
Mw = 4,33 + 1,49 Log (longitud de la ruptura subsuperficial en kilómetros) (2)

Las cuales tienen las restricciones que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Límites para la aplicación de las ecuaciones de ruptura superficial y subsuperficial (Wells y Coppersmith, 1994)

Tipo de falla	Rango de magnitud momento Mw	Rango de longitud (km)
Desgarramiento superficial	5,6 - 8,1	1,3 - 432,0
Desgarramiento subsuperficial	4,8 - 8,1	1,5 - 350,0

Las ecuaciones (1) y (2) implicarían una ruptura del orden de 70 km.

Utilizando las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994) y la más reciente de Stirling et ál. (2002), se podían haber estimado las magnitudes con las ecuaciones (3) y (4).

Datos preinstrumentales:
Mw = 5,89 + 0,79 Log (longitud de la ruptura superficial en kilómetros) (3)

Datos Instrumentales:
Mw = 5,45 + 0,95 Log (longitud de la ruptura superficial en kilómetros) (4)

La ecuación (3) implicaría una ruptura del orden de 30 km y la ecuación (4) una de 50 km. De acuerdo con la información de longitud de ruptura del USGS (2010), esta última ecuación se ajusta bastante bien a la realidad.

Evaluación probabilista de la amenaza sísmica para Puerto Príncipe

En este estudio se siguió a Hanks y Cornell (1994) y a Takada (2005). Este método consiste en analizar los sismos que ocurrieron en el área de estudio. Para conocer los eventos sísmicos de esta área se consultaron los catálogos del U.S. Geological Survey (USGS, 2010) y del International Seismological Center (ISC) (2010). Con el fin de unificar las escalas de magnitud a Ms (ondas superficiales), se utilizaron los estudios de UTSU (Hung, 2002). Para lo referente a los mecanismos focales se tomaron los resultados del Centroid Moment Tensor Project (Ekström, 2010).

Siguiendo a Takada (2005), se tuvieron en cuenta los sismos que pueden causar víctimas o daños en edificaciones, en este caso aquellos con magnitud MS mayor a 4,0. En la figura 2 se presentan epicentros y los mecanismos focales registrados en la isla La Española de 1973 a la fecha. De manera general se puede observar que la zona oriental presenta una aparente mayor sismicidad en la isla, esto puede deberse más a falta de instrumentación sismológica en Haití y a mayor presencia de instrumentos en República Dominicana y en Puerto Rico.

Sobre los mecanismos focales de los sismos más grandes de 1976 a la fecha, los datos provienen del Centroid Moment Tensor Project (Ekström, 2010).

Ya en Puerto Príncipe, se observó la sismicidad en un área de 40.000 km^2 comprendida entre las coordenadas 17,45º y 19,45º de latitud norte y entre 71,445º y 73,445º de longitud oeste. Después esta área se redujo buscando una sismicidad homogénea espacialmente.

El método de Hanks y Cornell (1994) asume que la ocurrencia de los sismos en la región de interés se aproxima a un proceso de Poisson, con una tasa constante de sismos en el tiempo y en el espacio. En este análisis se tomó una ventana de tiempo de 1973 a 2009.

Para la determinación de las aceleraciones para cada magnitud de sismo es necesario estimar la atenuación de la aceleración con la distancia. Se han desarrollado múltiples ecuaciones en todo el mundo: Douglas (2001, 2002) recopiló más de 200 ecuaciones robustas determinadas en diferentes partes del mundo. Se utilizaron cuatro ecuaciones que cumplían con tres criterios: ser las más recientes, que para su desarrollo utilizaran una gran base de datos y que la magnitud estuviera expresada en Ms. Las ecuaciones utilizadas fueron: Patwardhan et ál. (1978); Fukushima y Tanaka (1990); Sarma y Srbulov (1998); Ambraseys y Douglas (2000). Usando las ecuaciones de atenuación se puede estimar la distancia a la cual se pueden producir aceleraciones preestablecidas para magnitudes dadas.

Para determinar la curva de amenaza sísmica se procedió a combinar la tasa anual de ocurrencia de sismos con una magnitud dada por unidad de área. Finalmente el total de la tasa media anual de ocurrencia del movimiento sísmico mayor que una aceleración *a* dada es la sumatoria de las contribuciones de las diferentes magnitudes. En la figura 4 se presentan los análisis realizados con datos de 1973 a 2009.

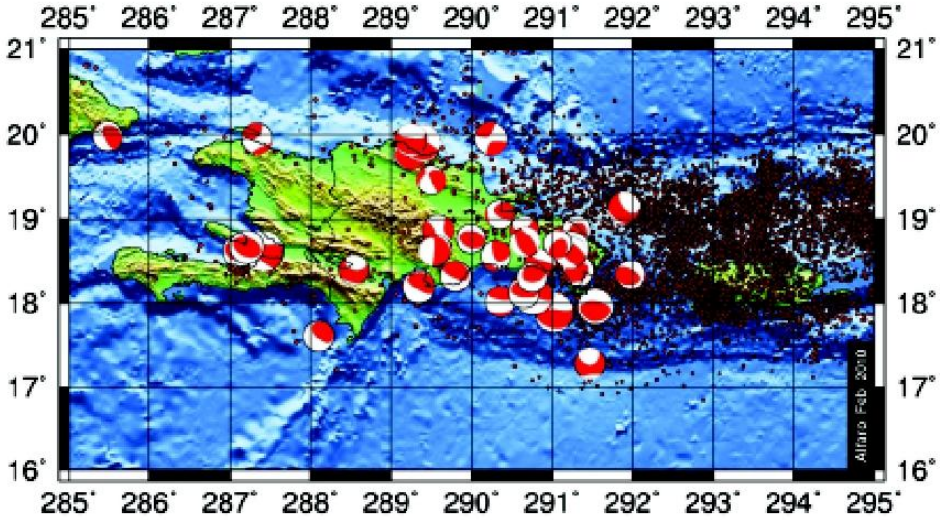

Figura 2. Sismicidad en Haití, epicentros y mecanismos focales

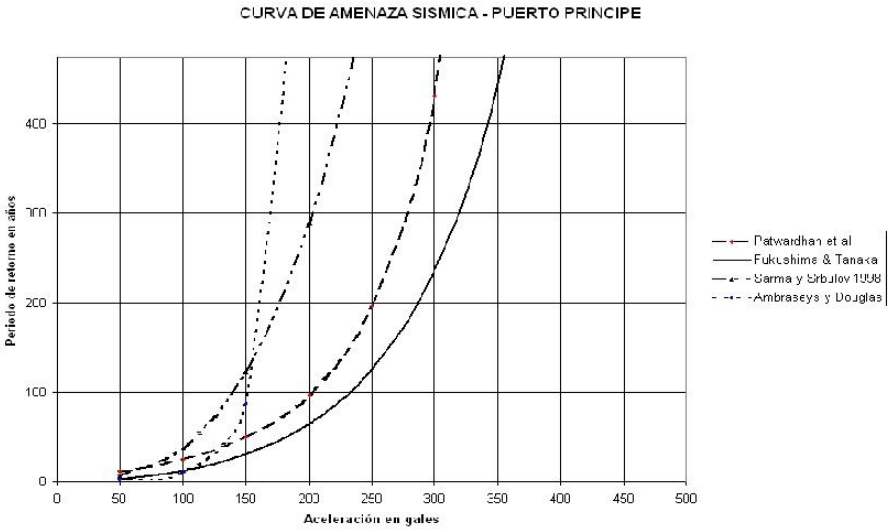

Figura 3. Curva de amenaza sísmica para Puerto Príncipe

En el campo de la ingeniería sismológica es común expresar estos resultados en tiempo de retorno. Para labores de diseño estructural comúnmente se utilizan los periodos de retorno de 475, los cuales corresponden a una vida útil de la estructura de cincuenta años y a una probabilidad de excedencia del 10%. El resultado para un periodo de retorno de 475 años es en promedio 250 gales, que si se comparara con la legislación sismo resistente colombiana, correspondería a Nivel de Amenaza Intermedio Alto.

Es importante anotar que el catálogo sísmico fue completado utilizando técnicas estadísticas, suponiendo que la sismicidad cumple con la relación de Gutenberg-Richter, que hay un registro adecuado de los eventos grandes, es decir mayores a MS 5,5 (ya que son registrados por las redes mundiales), y que hay un vacío importante en lo referente a sismos menores a MS 5,5, que en la mayoría de los casos no producen daños ni víctimas.

Discusión

El riesgo se ha definido como la convolución de la amenaza, la vulnerabilidad y los costos. Las estadísticas consolidadas del USGS (2010) muestran que no ha habido variaciones en el número de sismos por año; lo que sí ha cambiado y de forma dramática, es la vulnerabilidad de las comunidades humanas: ha habido un incremento de la población, y desafortunadamente un aumento en términos relativos y absolutos de los pobres en todo el mundo. En el caso de Puerto Príncipe, la catástrofe se ha desatado por una vulnerabilidad física, cultural, política y socioeconómica. Los estudios de Manaker et ál. (2008) indicaban, a partir de la tectónica de placas y de la evidencia histórica, que la liberación de la energía acumulada en la falla Enriquillo generaría un sismo de Mw 7,2, evento que lamentablemente se dio el 12 de enero de 2010. Un análisis probabilístico, utilizando completitud de catálogos, muestra valores de aceleración pico en roca del orden del 25% de la gravedad, indicando una zona con una amenaza sísmica importante. A pesar de las incertidumbres existe un cierto nivel de conocimiento de la amenaza. Sin embargo, ¿qué sucede con la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones en uno de los países más pobres del mundo y en el más pobre de todo el hemisferio occidental? Lamentablemente vamos a ser testigos de más catástrofes, ya que la velocidad de intervención para la prevención de desastres es menor que el aumento de la población expuesta a las amenazas, a lo que hay que sumar la intervención humana, la cual ha incrementado la deforestación, deficientes manejos de aguas residuales y aguas lluvia y un largo etcétera.

Algunos eventos sísmicos generan lecciones para aprender, como México (1985), Northridge (1989) o Kobe (1995). Se aprendió de efectos locales, tipos de estructuras de concreto reforzado o acero, de puentes, etc. Muchas ciudades en el mundo, incluida Bogotá, tienen cordones de miseria, en los cuales las vulnerabilidades de todo tipo hacen presencia; la amenaza está ahí, latente, se requiere una intervención seria y profunda para disminuir la vulnerabilidad, para que un fenómeno físico no se convierta en catástrofe y tragedia.

Agradecimientos

Al American Geophysical Union (AGU) al haber publicado en su pagina web referencias bibliográficas gratuitas de la Tectónica de Placas en Haití y el Caribe. La figura 2 fue desarrollada utilizando GMT (Wessel y Smith, 2004).

Referencias

Ambraseys, N. y Douglas, J. (2000). *Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response. ESEE Report 00-4*. Londres: Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College.

Douglas, J. (2001) *Comprehensive Worldwide Summary of Strong-Motion Attenuation Relationships for Peak Ground Acceleration and Spectral Ordinates (1969 to 2000)*. Londres: Imperial College of Science, Technology and Medicine.

Douglas, J. (2002) *Errata and additions to ESEE Report No. 01-1 "A comprehensive worldwide for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000)"*. Londres: Imperial College of Sciencie Technology and Medicine.

Ekström, G. *Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project*. 2010. Febrero de 2010. <http://www.globalcmt.org/>.

Fukushima, Y. y Tanaka, T. (1990): "A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan". *Bulletin of the Seismological Society of America*. Volumen 80. 4 757-783.

Hanks y Cornell. (1994): "Probabilistic Seismic Hazard Analysis: A Beginner's Guide". *Proceedings of the Fifth Symposium on Current Issues Related to Nuclear Power Plant Structures, Equipment and Piping*, North Carolina State University, Raleigh. I/1-1 a I/1-17.

Hung, K. (2002). *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior Committee on Education* International Association for Earthquake Engineering, Academic Press.

International Seismological Centre (ISC). *On-line Bulletin*. Internatl Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. 2010. 28 de enero de 2010. <http://www.isc.ac.uk>.

Manaker, D. et ál. (2008): "Intersismic Plate coupling and strain partitioning in the Northeastern Caribbean". *Geophys. J. Int.* 174. 889-903.

Mann, P. et ál. (1995). "Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: an example from the northeastern Caribbean plate margin". *Tectonophysics*. 246. 1-69.

Mann, P. et ál. (1998): "Tectonic geomorphology and paleoseismology of the Septentrional fault system, Dominican Republic, in Active Strike-slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean plate Boundary Zone". Dolan, J.F. y p. Mann (eds.). Volumen 326, pp. 63-124. *Geol Soc. Am. Spec. Paper*.

Mann, P. et ál. (1999): "Penrose conference report: subduction to strike-slip transition on plate boundaries". *GSA Today*. 9. 14-16.

Saavedra, M. (1996) *Desastre y Riesgo. Actores Sociales en la Reconstrucción de Armero y Chinchiná*. Bogotá: CINEP.

Sarma, S. y Srbulov, M. (1996): "A simplified method for prediction of kinematic soil-foundation interaction effects on peak horizontal acceleration of a rigid foundation". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Volumen 25. 8 815-836.

Sarma, S .y Srbulov, M. (1998). "An uniform estimation of some basic ground motion parameters". *Journal of Earthquake Engineering*. Volumen 2. 2 267-287.

Smit, P. et ál. (2000): "The digital accelerograph network in the Caucasus". Balassanian, S. (ed.), *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction-Advances in Natural and Technological Hazards Research*. Kluwer Academic Publishers. Presented at 2nd International Conference on Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Yerevan, Armenia, 15/9/1998-21/9/1998.

Stepp, J. (1972): "Analysis of Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area and Its Effect on Statistical Estimates of Earthquake Hazard". *Proc. Microzonation Conf. Univ. Seattle.* Washington. Volumen 2. 897-909.

Stirling M. et ál. (2002): "Comparison of Earthquake Scaling Relations Derived from Data of the Instrumental and Preinstrumental Era". *Bull. Seism. Soc. Am.* Volumen 92. 2 812-830.

Takada, T. (2005): "Seismic Macro Zonation". *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Lectures Notes*.

USGS. 2010. 28 de enero de 2010. <ww.earthquake.usgs.gov>.

Wells D. y Coppersmith, K. (1994): "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement". *Bull Seism. Soc. Am*. Volumen 84. 4 974-1002.

Wessel P. y Smith, W. *The Generic Mapping Tools Version 4 - Technical Reference and Cookbook*. 2004. <http://gmt.soest.hawaii.edu/>.