

SISMO-HAITÍ: PROYECTO DE COOPERACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA PELIGROSIDAD Y EL RIESGO SÍSMICO EN HAITÍ



Y. Torres¹, B. Benito¹, D. Belizaire², Grupo de trabajo Sismo-Haití.

¹ Universidad Politécnica de Madrid. y.torres@upm.es; mariabelen.benito@upm.es

² Observatorio Nacional de Medioambiente y Vulnerabilidad de Haití. bdwynn1@gmail.com

RESUMEN

El terremoto ocurrido el 12 de enero de 2010 en Haití devastó la ciudad de Puerto Príncipe, interrumpiendo la actividad social y económica. El proyecto *Sismo-Haití* surgió como respuesta a la solicitud de ayuda del país ante esta catástrofe y está siendo llevado a cabo por el grupo de investigación en Ingeniería Sísmica de la Universidad Politécnica de Madrid, especialistas en geología y sismología de las universidades Complutense de Madrid, Almería y Alicante, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y técnicos locales.

En el marco del citado proyecto se realizará un estudio de la amenaza sísmica, con la consiguiente obtención de mapas de aceleraciones que sirvan de base para una primera normativa sismorresistente en el país. Asimismo, se llevará a cabo un estudio de riesgo sísmico en alguna población piloto, incluyendo estudios de microzonación y vulnerabilidad sísmica, así como la estimación de daños y pérdidas humanas ante posibles sismos futuros, cuyos resultados irán dirigidos al diseño de planes de emergencia. En este trabajo se presentan los primeros avances del proyecto.

Uno de los objetivos más importantes del proyecto *Sismo-Haití* es la formación de técnicos en el país a través de la transmisión de conocimientos y experiencia que el grupo de trabajo tiene en materia de peligrosidad y riesgo sísmico, así como en todo lo relacionado con la gestión de la emergencia.

Palabras clave: cooperación al desarrollo, peligrosidad sísmica, riesgo sísmico, normativa sismorresistente, plan de emergencia, capacitación.

SUMMARY

The January, 2010 Haiti earthquake devastated the city of Pot au Prince, interrupting the social and economical activity. The *Sismo-Haiti* cooperative project emerged as a response to the Haitian country assistance request and it is being carried out by the Earthquake Engineering Researching Group (Technical University of Madrid), specialists in Geology and Seismology from the Complutense University of Madrid, the Universities of Almería and Alicante, the High Council for Scientific Research and local technicians.

Within the frame of the mentioned project, a seismic hazard assessment will be conducted and the hazard maps to be obtained will be used as a basis for the first Haitian seismic code. As well, a seismic risk estimation in a pilot city will be carried out, including micro-zoning and seismic vulnerability studies and the evaluation of damage and human losses due to possible future earthquakes; the results will be used to design post-event emergency plans. In this paper, the first results of this project are presented.

An important goal of the *Sismo-Haiti* project is to contribute to the transfer of knowledge and expertise on seismic hazard and risk as well as other topics related to emergency management.

Keywords: development cooperation, seismic hazard, seismic risk, seismic code, emergency plan, training.

Introducción

Respondiendo a una solicitud de ayuda del Observatorio de Medioambiente y Vulnerabilidad de Haití (ONEV), provocada por la situación en la que se sumió el país a causa del terremoto ocurrido el 12 de enero de 2010, el Grupo de Ingeniería Sísmica de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), junto con otros especialistas españoles, ha iniciado el proyecto de cooperación Sismo-Haití. Este proyecto, que fue aprobado en la convocatoria de proyectos de cooperación de la UPM (2010), se desarrollará en 16 meses a partir de enero de 2011 y cuenta con una financiación de 40.000 euros.

Haití, uno de los países prioritarios de la cooperación española, muestra un Índice de Desarrollo Humano (IDH) del 0,404 que lo sitúa en la posición 145 en un ranking de un total de 169 naciones (datos 2010). Con este IDH, el país caribeño se integra en el grupo de las naciones con nivel de Desarrollo Humano Bajo. El catastrófico terremoto de enero de 2010, ha sumido aún más si cabe al país en la pobreza. Sus efectos han sido devastadores para la población: más de 220.000 personas han perdido la vida, más de 300.000 han resultado heridas y, aproximadamente, 1,3 millones han quedado sin hogar. Las malas condiciones de las infraestructuras y las edificaciones son responsables de que sismos de igual magnitud provoquen mayor devastación en estos países que en otros más desarrollados.

El fin último de este proyecto es el desarrollo de acciones de mitigación del elevado riesgo sísmico existente, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región. La adopción de medidas preventivas, unida a la disponibilidad de planes de emergencia, son las únicas acciones eficaces para evitar la tragedia. Para ello, se llevará a cabo un estudio de la peligrosidad sísmica regional como herramienta para materializar una propuesta de normativa sismorresistente en Haití, adaptada a los condicionantes propios del país, así como un estudio de riesgo sísmico en una población a determinar.

El proyecto pretende desencadenar un proceso sostenible, participativo y replicable donde los diferentes actores con responsabilidad en cooperación actúen de manera coordinada y eficiente. Cabe destacar, la elaboración de planes para la educación de la ciudadanía a través de talleres, charlas formativas y guías de comportamiento ante la sacudida sísmica, haciendo al propio ciudadano motor de su autoprotección. Como último propósito de este trabajo, se pretende la formación de personal local para avanzar hacia una sociedad mejor preparada para afrontar este tipo de catástrofes.

El proyecto Sismo-Haití

1. Objetivos:

El proyecto se concibe con dos objetivos generales. El primero está destinado a la evaluación de la amenaza sísmica en Haití, dirigida a establecer criterios de diseño sismorresistente para la reconstrucción en el país. Se elaborarán mapas de amenaza para periodo de retorno de 475 años, que serán la base del diseño de viviendas convencionales y se desarrollarán estudios de mayor detalle, con la consiguiente caracterización del movimiento del suelo para estructuras de especial importancia, como puentes, presas, etc. El segundo objetivo es la caracterización del movimiento a escala local, generando mapas de microzonación en poblaciones a elegir con vistas al desarrollo de estudios de riesgo a nivel urbano. El proyecto tendrá una parte formativa y otra de ejecución en sus dos vertientes. Además de los resultados que se obtengan en ambas, se propone desarrollar guías metodológicas para poder repetir los estudios de detalle, concebidos como estudios piloto, en otras poblaciones o emplazamientos del país.

Los objetivos específicos que se proponen, para alcanzar los generales descritos, son:

- Evaluación de amenaza sísmica en Haití, generando mapas de aceleraciones pico PGA y espectrales SA (T) para periodo de retorno de 475 años.
- Evaluación del efecto local en alguna población con elevada amenaza y elaboración de mapas de microzonación en esa población.
- Estudio de vulnerabilidad sísmica a escala local.
- Estimación del riesgo sísmico en la población elegida.
- Propuesta de criterios de diseño sismorresistente.
- Medidas de mitigación del riesgo y diseño de planes de emergencia.

2. Primeros avances:

A continuación se presentan los resultados preliminares de las investigaciones llevadas a cabo. Hasta el momento, tan solo se ha ejecutado una primera fase destinada a recopilar información de diversa índole, que constituirá la base documental para el desarrollo de los estudios de amenaza y riesgo en Haití. Esta información se ha clasificado y estructurado en un SIG que constituye la herramienta básica de trabajo.

2.1. Base de Datos y Sistema de Información Geográfica (SIG).

Se ha habilitado una plataforma web como herramienta para intercambio de información documental entre todos los componentes del grupo de trabajo. En ella se ha clasificado de forma ordenada toda la información recopilada hasta el momento, que procede esencialmente de organismos internacionales (Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), ONU, NASA, OpenStreetMap, GeoEye, etc). Esta iniciativa está sustentada en la necesidad de optimizar los recursos de la Cooperación Internacional destinados a proyectos de desarrollo.

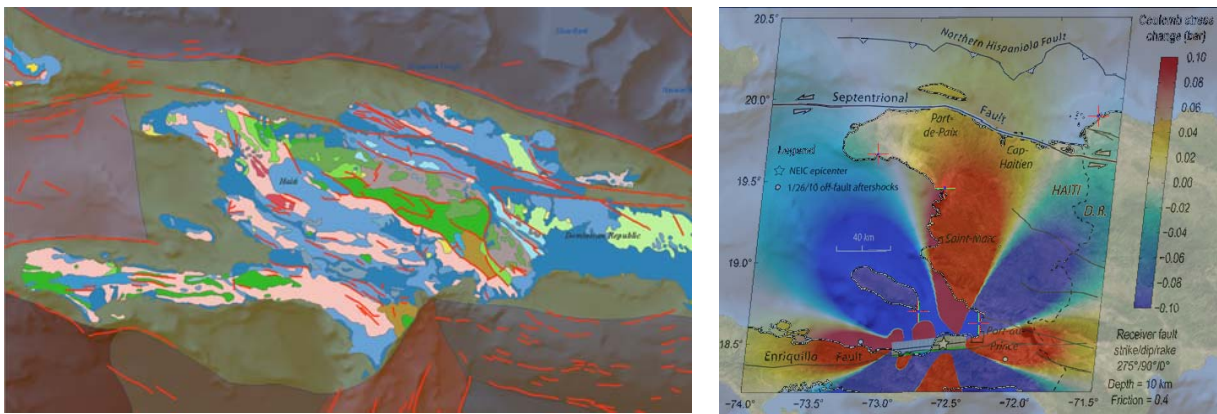


Figura 1. Tectónica de Haití (izq) y mapa de esfuerzos de Coulomb (dcha)

Toda la información se ha clasificado en una base de datos indexada para poder acceder a ella de manera eficiente y se ha generado un SIG con las correspondientes capas de información. Los datos recopilados se utilizarán en las diferentes fases del estudio a desarrollar. En el análisis de amenaza sísmica se emplearán capas de geología (Figura 1), tectónica, MDT y catálogo sísmico. Para el cálculo de riesgo se utilizarán capas de infraestructuras, límites administrativos, densidad de población, distribución del daño causado por el terremoto del 12 de enero de 2010 u otras imágenes georreferenciadas. Los efectos sismo-geológicos, como pueden ser fenómenos de licuefacción, se analizarán mediante capas de hidrografía, litología y usos de suelo. También se dispone de una colección de imágenes georreferenciadas de alta resolución (0,50 m) puestas a disposición por GeoEye. Estas imágenes son del día 13 de enero de 2010 y con ellas se pretende

realizar un control de cambios para detectar deslizamientos de ladera o nuevas fallas descubiertas a partir del terremoto.

Como medio para el análisis de la información geográfica se ha utilizado el software ArcGIS de ESRI. En una segunda fase del trabajo se plantea desarrollar las aplicaciones mediante gvSIG (software libre). Este modelo de trabajo proporciona una mayor accesibilidad y genera un valor añadido a los proyectos de cooperación, al permitir compartir información a coste cero. Esto es de vital importancia en la concepción del proyecto, ya que se pretende generar información que pueda ser compartida por todos los actores implicados en la gestión de la emergencia.

2.2. Catálogo Sísmico.

Con el fin de elaborar los modelos de sismicidad y recurrencia necesarios para llevar a cabo el estudio de peligrosidad a escala regional, se está elaborando un catálogo sísmico de proyecto con datos tanto históricos como instrumentales. Las principales fuentes de datos son el Observatorio de Medioambiente y Vulnerabilidad de Haití, el Instituto Sismológico de la Universidad Autónoma de Santo Domingo y la Red Sismológica de la Universidad de Mayagüez de Puerto Rico.

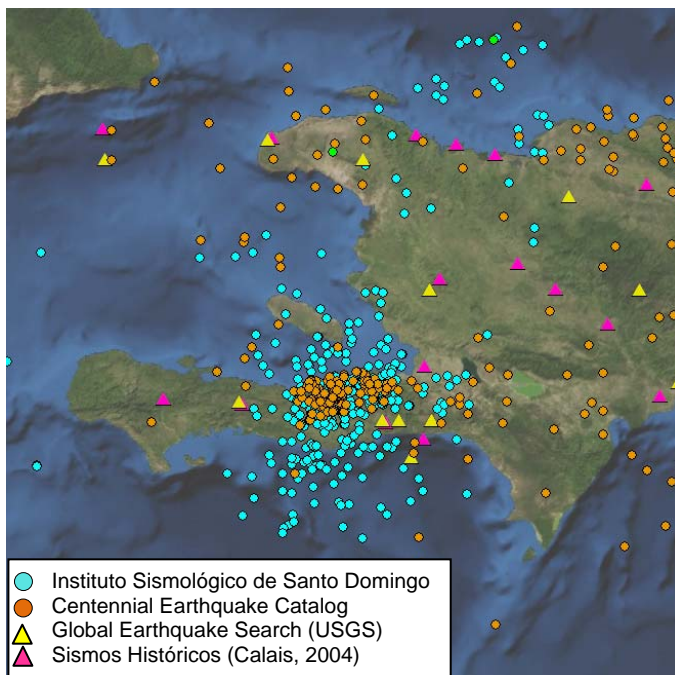


Figura 2. Primeros resultados del Catálogo Sísmico de Haití

Los sismos instrumentales que forman parte del catálogo de proyecto han sido registrados por las estaciones del Instituto Sismológico de Santo Domingo y por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) entre los años 1956 a 2010. Forman un total de 385 eventos (Figura 2) de magnitudes entre 1.8 y 7.

Este catálogo ha de ser filtrado para eliminar los sismos de baja magnitud que no presenten incidencia importante en la peligrosidad de la región, depurado de réplicas y premonitores, homogeneizado a una misma escala de magnitud y completado para el rango de magnitudes considerado. Todos estos trabajos se llevarán a cabo en las fases siguientes de ejecución del proyecto.

El catálogo histórico elaborado hasta el momento está formado por 30 sismos ocurridos entre 1615 y 1953 y un paleosismo datado entre 1200 y 1300 (Calais, 2004). De estos 30 eventos, al menos 6 ocasionaron graves daños en ciudades como Puerto Príncipe (1701, 1751, 1770), Cabo Haitiano (1842, 1887) y Villa de Hinch (1761), causando, en algunos casos, la destrucción de la ciudad.

2.3. Tectónica Activa en Haití.

Haití ocupa la mitad occidental de la isla de La Española, que forma parte de una guirnalda de islas situadas en el límite noreste de la placa de Caribe, en su contacto con la placa de Norteamérica. En este límite la diferencia de velocidad de movimiento entre ambas placas es de unos 20 mm/año (DeMets et al., 2000). El límite es de tipo transpresivo y la

deformación es absorbida mediante una serie de fallas de desgarre y transformantes y zonas de deformación compresiva. En Haití la deformación se reparte esencialmente en dos zonas de desgarre principales con dirección E-O. Por un lado, al norte, la falla septentrional, absorbe aproximadamente 9 mm/año (Prentice et al., 2003; Manaker et al., 2008) con un movimiento de desgarre puro. Por otro lado, al sur, la falla de Enriquillo, absorbe unos 7 mm/año (Manaker et al., 2008). A esta deformación transcurrente hay que añadir la componente compresiva que se absorbe en la subducción en su mayoría, pero que también en parte es transmitida hacia el interior de La Española. En la zona de falla Septentrional apenas se absorbe deformación compresiva, mientras que en el área de la falla de Enriquillo se acomodan unos 2 - 3 mm/año (Calais et al., 2010) a través de una serie de fallas inversas de dirección ONO-ESE que se prolongan con dirección SE hacia el cinturón de deformación de la Fosa de los Muertos (Mann et al., 2002).

En un principio se pensó que la falla responsable del evento de Enero de 2010 debía ser la falla de Enriquillo, que había acumulado energía elástica suficiente como para generar un terremoto de tales características (Manaker et al., 2008). Sin embargo, tanto las observaciones de campo (Prentice et al., 2010) como los modelos de deslizamiento obtenidos a partir de datos telesísmicos, GPS e InSAR (Calais et al., 2010, Hayes et al., 2010) muestran un tipo de rotura diferente al esperado en la falla de Enriquillo. Los datos actuales hacen pensar que en realidad no fue la falla de Enriquillo la responsable del destructivo terremoto, sino una falla con deslizamiento oblicuo, inverso-desgarre, con buzamiento al norte, asociada quizás al cinturón de deformación compresiva situado al norte de la falla de Enriquillo.

2.4. Deformaciones Geológicas y Amenazas potenciales provocadas por el terremoto.

A partir del análisis de las imágenes satélite de Google Earth (anteriores y posteriores al seísmo de Haití), se efectuó un estudio detallado de las deformaciones provocadas por el terremoto en un amplio sector del sur de esta isla, incluyendo ciudades como Port-Au-Prince, Carrefour y Gresslier, el sector montañoso del macizo de la Selle donde se encuentra la falla de "Enriquillo-Plaintain-Garden" y los cauces de varios ríos y sus correspondientes deltas afectados por los temblores (Momanche, Grise, Frorse).

Los resultados parciales de estas investigaciones se publicaron en marzo de 2010 en una página web habilitada por la comunidad científica internacional para intentar paliar los devastadores efectos del terremoto (<http://supersites.earthobservations.org/haiti.php>).

Los principales tipos de deformaciones geológicas observadas como consecuencia del sismo incluyen corrimientos de tierra, estructuras de licuefacción, elevaciones costeras, fracturas, rupturas, desvíos de cauces de ríos y deltas, etc. Los riesgos geológicos más notables derivados de estos eventos sísmicos incluyen corrimientos de tierra, inundaciones, reactivación de ciertos elementos tectónicos inestables (fracturas, zonas de rupturas caóticas, etc.), reajustes de los deltas fluviales y de sus aportes sedimentarios, etc.

Actualmente, se están revisando las últimas series de imágenes de Google Earth (después de la estación de las lluvias), y, por desgracia, se observa cómo muchas de estas estructuras han sido borradas por las aguas torrenciales o sepultadas por los sedimentos. Los únicos testigos que quedan de las mismas son las imágenes de Google Earth anteriores al periodo de las lluvias. Finalmente se están evaluando los primeros resultados publicados en Nature Geosciences (Noviembre 2010) por los equipos americanos y haitianos que se desplazaron inmediatamente a la zona del desastre.

2.5. Perfiles Sísmicos Mar-Tierra en el borde NE de la Placa Caribe.

En primavera de 2005 y 2009 se llevaron a cabo dos campañas geofísicas en mar y tierra (GEOPRICO y CARIBE NORTE) en el borde NE de la Placa Caribe, desde la Cresta Beata hasta el Pasaje de Anegada, con el objetivo de estudiar los procesos de subducción y colisión que tienen lugar en la zona. Ambos proyectos contaron con el BIO Hespérides, obteniendo datos de batimetría, gravedad, magnetismo, sísmica de reflexión vertical y sísmica de gran ángulo.

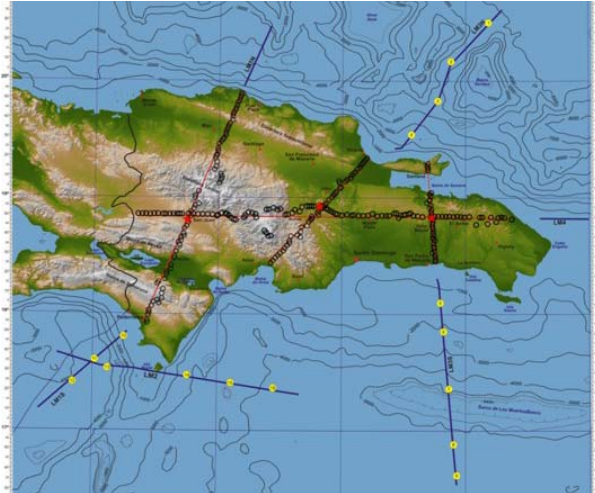


Figura 3: Estaciones sísmicas terrestres, OBS y perfiles sísmicos marinos.

En el marco del proyecto CARIBE NORTE, con el objetivo de determinar la estructura profunda de la corteza, se desplegó una red de 340 estaciones sísmicas en la República Dominicana, separadas en intervalos de 1-3 km, a lo largo de 4 perfiles sísmicos, tres N-S y uno E-W (Figura 3). Además, se fondearon 17 OBS, en el norte y sur de La Española. Las estaciones sísmicas terrestres y OBS registraron durante la campaña explosiones de aire comprimido realizadas cada 90 segundos por el BIO Hespérides y tres explosiones en tierra, de 1000 kg de explosivo, situadas en tres puntos de las cordilleras Central y Oriental.

Debido al elevado número de datos adquiridos, aún no se ha terminado de procesarlos. No obstante, los modelos corticales obtenidos por el momento, indican la existencia de grandes variaciones de espesor y velocidad de propagación de las ondas P en la zona de contacto Placa Caribe-Fosa de los Muertos y en la Cresta Beata.

Como continuación de esos estudios, en el marco del nuevo proyecto en Haití, se pretende extender los modelos de corteza hacia el oeste, tanto en el entorno de la falla de Enriquillo-Plantain Garden, como en la parte interior de La Española, al oeste de la Cordillera central. Para ello, se ha diseñado una nueva red de perfiles sísmicos en la zona que prolongarán las transectas principales realizadas en República Dominicana, tanto en la zona interior como a ambos flancos de la falla de Enriquillo.

2.6. Microzonación sísmica y cuantificación del efecto de sitio.



Figura 4. Distribución de daños en Puerto Príncipe

La distribución espacial de los daños observados en el área urbana de Puerto Príncipe en el terremoto de 2010 (Figura 4), pone de manifiesto de forma cualitativa la influencia de las variaciones locales de las condiciones superficiales del terreno en la distribución de la intensidad sísmica, observándose una mayor concentración de daños en la zona del puerto, formada por rellenos artificiales, y en áreas urbanas, donde predominan materiales cuaternarios (EERI, 2010).

El objetivo de esta fase del proyecto es realizar un análisis detallado de la respuesta sísmica del suelo (velocidad de cizalla y período predominante) en diferentes emplazamientos de la ciudad que se elija para la estimación del riesgo, mediante el análisis de registros de ruido ambiental de corto período, que permita evaluar cuantitativamente la relación entre las condiciones superficiales del terreno en términos de amplificación del movimiento fuerte y la distribución de daños observados.

La estructura superficial del terreno se caracterizará a partir del modelo promedio de velocidad de las ondas de cizalla hasta una profundidad de 30 m (V_{s30}), el cual se determinará empíricamente a partir del análisis de los registros de ruido ambiental obtenidos mediante redes locales de sensores de alta frecuencia (SPAC). Dicho método ha sido probado como un método alternativo a los métodos tradicionales de prospección y permite calcular las velocidades de propagación de las ondas superficiales (p.e. García Jerez et al., 2007, 2008, 2010; Navarro et al., 2008a, 2008b, 2010). Además, se obtendrán mapas de distribución de periodos predominantes dentro del área urbana, con especial atención a las zonas con daños, utilizando sismómetros de tres componentes. Los efectos de amplificación local para cada tipo de suelo se van a determinar simulando el movimiento del suelo a partir de los modelos de velocidad V_s .

Los resultados obtenidos serán un aporte muy importante para la reducción del riesgo sísmico en la población elegida, ya que permitirán seleccionar los emplazamientos más seguros para la construcción de las nuevas edificaciones, mejorar el diseño sísmico y prevenir futuros desastres.

2.7. Estudio del daño físico producido por el terremoto.

Como fase precedente al estudio de riesgo sísmico que se llevará a cabo en una ciudad de Haití, se ha identificado la tipología constructiva predominante en Puerto Príncipe y las prácticas de construcción locales, con el fin de entender las causas de los graves daños, especialmente de los colapsos, que el sismo causó en los edificios convencionales.

Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto la alta vulnerabilidad estructural de los edificios de Puerto Príncipe en el momento del sismo, debida a la ausencia de código sísmico y a la baja calidad de las construcciones, lo que explica las dimensiones de la catástrofe. En Haití, como en la mayoría de países en vías de desarrollo, los constructores de viviendas son generalmente sus propietarios, por lo que las prácticas de construcción carecen de base técnica y están enfocadas a minimizar el gasto.

Según los informes de daños de Eberhard et al. (2010) y Fierro y Perry (2010), casi el 75% de las viviendas convencionales en Puerto Príncipe son edificios de una planta, de mampostería sin reforzar o madera, y la mayoría de ellas tiene tejado de metal. Sólo un 5% de los edificios tiene más alturas, y son de marco de hormigón reforzado con relleno de mampostería sin reforzar, lo que explica la gran cantidad de desprendimientos de muros de cerramiento. Este segundo tipo de estructuras sufrió más daños por ser mucho menos dúctiles, pues se caracterizan por tener gruesas losas de hormigón armado, columnas infradimensionadas, armadas con varillas de acero, lisas en muchos casos, y frágiles uniones viga-columna que dan lugar a la generación de las rótulas plásticas en partes del edificio que no son las deseadas.

En la tabla 1 se muestran datos de las ciudades en las que se han registrado los mayores daños. Los datos de intensidad se han tomado del USGS (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/pager/events/us/2010rja6/index.html>) y los porcentajes de edificios severamente dañados o destruidos, del Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Haití.

Ciudad	Porcentaje de daño severo y completo	Intensidad (MMI)
Gressier	X	68,8%
Petit Goave	X	41,8%
Leogane	IX	74,1%
Puerto Príncipe	VIII	57,7%
Delmas	VIII	44,9%
Carrefour	VIII	43,8%

Conclusiones

Se ha generado un SIG con información recopilada para el desarrollo del proyecto Sismo-Haití, integrado por capas de información referentes a la tectónica de la zona, catálogo sísmico, deformaciones geológicas provocadas por el terremoto del 12 de enero de 2010, perfiles sísmicos desarrollados en La Española, datos de microzonación en Puerto Príncipe y distribución de daños.

Se dispone de información documental de partida para el desarrollo de un estudio de amenaza sísmica en el país y un análisis del riesgo en alguna población a determinar, dirigidos a establecer criterios de diseño sismorresistente, y de planes de emergencia, contribuyendo en lo posible a mejorar la preparación de la población de Haití para hacer frente a eventuales sismos futuros.

Agradecimientos

El trabajo es un avance del proyecto Sismo-Haití financiado por la Universidad Politécnica de Madrid.

Los autores agradecen el apoyo de las instituciones colaboradoras en este proyecto: Observatorio de Medio Ambiente y Vulnerabilidad de Haití (ONEV), Universidades de Alicante, Almería y Complutense de Madrid, CSIC, Universidad Autónoma de Santo Domingo y Universidad de Mayagüez, Puerto Rico.

Grupo de trabajo Sismo-Haití

Raúl García (UPM), Alicia Rivas (UPM), Diego Córdoba (UCM), Enrique Alarcón (UPM), Eugenio Polanco (U. Autónoma de Santo Domingo), Joaquín Martí (UPM), Jorge Gaspar (UPM), Jorge Navarro (UPM), Jose Antonio Álvarez (UCM), Jose Jesus Martínez Díaz (UCM), Ligia Elena Quirós H. (UPM), M. José García (UPM), Manuel Navarro (U. Almería), María Crespo (UPM), Sandra M. Cuevas (UPM), Sandra Staller (UPM), Sergio Molina (U. Alicante), Víctor Huérfano (U. de Mayagüez, Puerto Rico), Miguel de las Doblas (CSIC).

Referencias:

- Calais, E., 2004. "Rapport de Mission: Campagne GPS en Haiti (11 au 26 novembre 2003). Analyses des données et premières conclusions", Purdue University, Indiana (EU), 16 pp.
- DeMets, C., P. Jansma, G. Mattioli, T. Dixon, F. Farina, R. Bilham, E. Calais, and P. Mann, (2000). "GPS geodetic constraints on Caribbean-North America plate motion". Geophysical Research Letters, 27, 437 – 440.
- Eberhard, M.O., S. Balbridge, J. Marshall. W. Mooney and J.R.Glenn (2010). "The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010: USGS/EERI Advanced Reconnaissance Team Report". USGS Internal Report.
- EERI (2010). "Learning from Earthquakes: The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010". Special Earthquake Report.
- Fierro, E. and C. Perry. (2010). "Preliminary Reconnaissance Report – 12 January

- 2010 Haiti Earthquake". BFP Engineers. 12 pp.
- García-Jerez, A., F. Luzón, M. Navarro, and J. A. Pérez-Ruiz (2008). "Determination of elastic properties of shallow sedimentary deposits applying a spatial autocorrelation method". *Geomorphology* 93, 74-88.
 - García-Jerez, A., Luzón, F., Navarro, M., Santoyo, M. A. (2010) "Assessing the Reliability of the Single Circular Array Method for Love-Wave Ambient-Noise Surveying". *Bull. Seismol. Soc. Am.* 100 (5), 2230-2249.
 - García-Jerez, A., M. Navarro, F.J. Alcalá, F. Luzón, J.A. Pérez-Ruiz, T. Enomoto, F. Vidal, E. Ocaña (2007). "Shallow Velocity Structure Using Joint Inversion of Array and H/V Spectral Ratio of Ambient Noise: The Case of Mula Town (SE Spain)". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 907-919.
 - Hayes G. P., R. W. Briggs, A. Sladen, E. J. Fielding, C. Prentice, K. Hudnut, P. Mann, F. W. Taylor, A. J. Crone, R. Gold, T. Ito and M. Simons, (2010). "Complex rupture during the 12 January 2010 Haiti earthquake". *Nature Geosciences*, 3, 800-805.
 - Manaker M, E. Calais, A. M. Freed, S. T. Ali, P. Przybylski, G. Mattioli, Jansma, C. Prépetit and J. B. de Chabaliér, (2008). "Interseismic Plate coupling and strain partitioning in the Northeastern Caribbean". *Geophysical Journal International*, 174, 889–903.
 - Mann P, Eric Calais, Jean-Claude Ruegg, Charles DeMets, Pamela E. Jansma and Glen S. Mattioli (2002). "Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations". *Tectonics*, 21, No. 6, 1057, doi:10.1029/2001TC001304,.
 - Navarro M., J.A. García-Jerez, F.J. Alcalá, F. Vidal, T. Enomoto, F. Luzón, C. Creus (2008a). "Vs30 Structure of Lorca town (SE Spain) from Ambient Noise Array Observations". *Proceeding 31st General Assembly of the European Seismological Commission ESC 2008, Hersonissos, Crete, Greece, 7-12 September 2008*.
 - Navarro, M., J.A. García-Jerez, F. Vidal, T. Enomoto, M. Feriche (2010b). "Vs30 structure of Granada town (southern Spain) from ambient noise array observations. 14th ECEE", Macedonia. 8 pp.
 - Navarro, M., T. Enomoto, T. Yamamoto, A. García-Jerez, F. Vidal, M. Bretón, (2008b). "Analysis of Site Effects and Their Correlation with Damage Distribution Observed During the Colima (Mexico) Earthquake of January 21, 2003". *Proc. Of the 14th WCEE, Beijing, China, October 12-17, 2008*, 8 pp.
 - Prentice C. S., P. Mann, A. J. Crone, R. D. Gold, K. W. Hudnut, R. W. Briggs, R. D. Koehler and P. Jean, (2010). "Seismic hazard of the Enriquillo–Plantain Garden fault in Haiti inferred from palaeoseismology". *Nature Geosciences*, 3, 789-793.
 - Prentice, C.S., Mann, P., Pea, L.R. & Burr, G., (2003). "Slip rate and earthquake recurrence along the central Septentrional fault, North American-Caribbean plate boundary, Dominican Republic". *Journal of Geophysical Research*, 108, doi:10.129/2001JB000442.