

Consideraciones sobre la vulnerabilidad en zonas urbanas de Puerto Rico ante la ocurrencia de eventos geológicos

Lorna G. Jaramillo Nieves
Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras
lgjaramillo@uprrp.edu

Los eventos geológicos en el Caribe han afectado poblaciones a lo largo de la historia. Fenómenos como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierra son algunos ejemplos de eventos geológicos que han causado pérdidas humanas y económicas a los países del Caribe. Todas sus poblaciones están potencialmente afectadas, pero son las áreas urbanas las que se resaltan en este artículo por su densidad poblacional, su concentración de infraestructuras y su frecuente localización en áreas costeras. Durante este ejercicio de reflexión se presenta la situación de riesgo geológico para Puerto Rico y la vulnerabilidad de sus zonas urbanas ante dicho riesgo. Se razona sobre las condiciones actuales en cuanto al manejo de riesgo geológico en la Isla de Puerto Rico. La reflexión se cierra con recomendaciones que podrían colocar a los habitantes de las zonas urbanas de la Isla en una posición menos vulnerable ante el riesgo geológico.

Palabras clave: terremoto, tsunami, estabilidad de laderas, zonas urbanas, Caribe

Geological events in the Caribbean have affected populations through history. Phenomena such as earthquakes, tsunamis, volcanic eruptions and landslides are examples of geological events that have caused human and economic losses to the Caribbean countries. All populations in the Caribbean may be potentially affected, but urban areas are highlighted in this article due to their population density, concentration of infrastructure and frequent location in coastal areas. This reflection exercise presents the situation of geological risk for Puerto Rico and the vulnerability of its urban areas toward this risk. It is also reason about the current conditions on the island of Puerto Rico in geological risk management. The reflection closes with recommendations that could put the inhabitants of urban areas of the island in a less vulnerable position toward geological risks.

Keywords: earthquake, tsunami, slope stability, urban zones, Caribbean, landslides

Introducción

Puerto Rico (PR), al igual que el resto del Caribe (Figura 1), está sujeto a eventos geológicos como lo son los terremotos, los tsunamis y la inestabilidad de sus laderas. El riesgo geológico para las zonas urbanas de PR y de los países en la región del Caribe dependen en parte de su cercanía a la fuente de riesgo, esto es, su proximidad a fallas geológicas, a masas de agua desplazadas por movimientos telúricos y a pendientes potencialmente inestables; además de características en su propio territorio

como lo son la abrasión costera, la erosión y la topografía cárstica. Los métodos inherentes al estudio de lo urbano deben considerar la potencialidad del riesgo geológico para así minimizar la vulnerabilidad de los ciudadanos y su infraestructura ante estos eventos. Algunos ejemplos del estudio sobre el riesgo geológico y su vínculo con los asentamientos humanos incluyen estudios por Lugo-Hubp, Cordero Estrada & Zamorano-Orozco (1995), Lavell (1999), Cardona (2001) y Argüello-Rodríguez (2004). Los estudios que tratan el *riesgo* por eventos naturales indican que el mismo es una función de la *vulnerabilidad* de la sociedad, además de la *amenaza* que éstos representan. La vulnerabilidad depende de la exposición, la resistencia y la resiliencia de los asentamientos humanos. Como resultado el riesgo depende tanto de factores físicos como de factores sociales. Berrocal (2008) indica "...que no basta con conocer solamente los factores físicos que se desarrollan de forma natural y que son parte de la dinámica terrestre, sino los elementos sociales que hacen que un proceso se convierta en un desastre social".

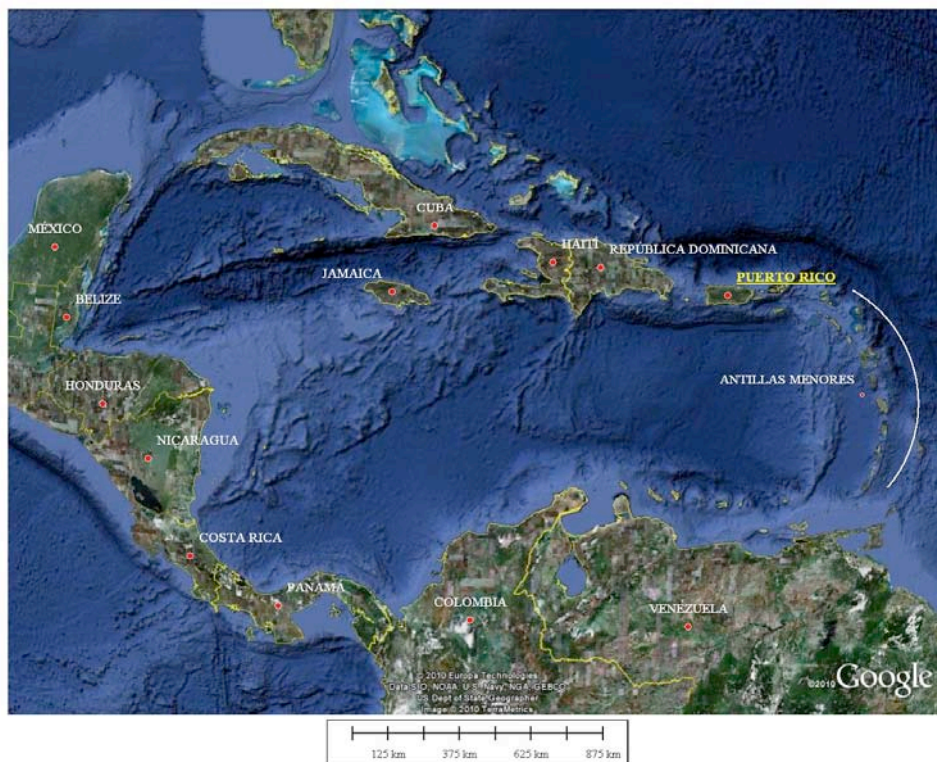


Fig. 1. Mapa del Caribe

En el presente artículo se da una idea de algunas amenazas geológicas y de las vulnerabilidades que presentan los asentamientos urbanos de PR. Así, se enfatiza que la visión prospectiva de posibles daños al entorno urbano a causa de eventos geológicos favorece su disminución en las zonas urbanas. Es conocido que el Caribe es una zona de alto riesgo sísmico, evidenciado por eventos como el reciente sismo de Haití el 12 de enero de 2010. Además, muchos datos científicos también evidencian la potencialidad de riesgo geológico a causa de tsunamis (Mercado Irizarry, A. & Justiniano Sepúlveda 2003) y la inestabilidad de laderas según se observó durante el tsunami en el oeste de PR en el año 1918 y los deslizamientos en Vargas, Venezuela, en diciembre de 1999.

Eventos geológicos que han afectado las zonas urbanas en Puerto Rico

Terremoto y tsunami 1918 en Puerto Rico

PR esta ubicado en una zona sísmicamente activa y con una tectónica compleja (Mann, 2005 y figura 2). Los sismos que tienen lugar en la región están relacionados con ocho zonas principales: (1) la Trinchera de PR, (2) las fallas de la Pendiente Norte y Sur de PR, (3) la Zona del Sombrero, (4) el Pasaje de la Mona, (5) el Cañón de la Mona (6) las depresiones de Islas Vírgenes y Anegada, (7) la depresión de Muertos y (8) la zona sísmica de los 19 grados norte (Figura 2). De la historia sísmica de la región el mayor es un evento de magnitud 7.8 (escala de Richter) en 1943 al noroeste de la Isla según datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos-USGS (2010).

Existen otros eventos significativos, como el que afectó la región oeste de PR con una magnitud de 7.5 (escala de Richter) el 11 de octubre de 1918 (USGS, 2010) y que generó un tsunami que afectó los pueblos de Aguadilla, Rincón y Mayagüez (figura 2) (Fielding y Taber, 1919). El epicentro se localizó en la latitud 18.5° norte y la longitud 67.5° oeste, según datos del USGS (2010), a unos 80 kilómetros de Aguadilla (figura 2). Como resultado de estos eventos, varias estructuras en Mayagüez colapsaron y muchas secciones cercanas a la costa en las localidades mencionadas se afectaron a causa de las aguas desplazadas durante el tsunami. Fallecieron 116 personas a causa del terremoto, y otras 40 murieron por el tsunami, (Red Sísmica de Puerto Rico, 2010).

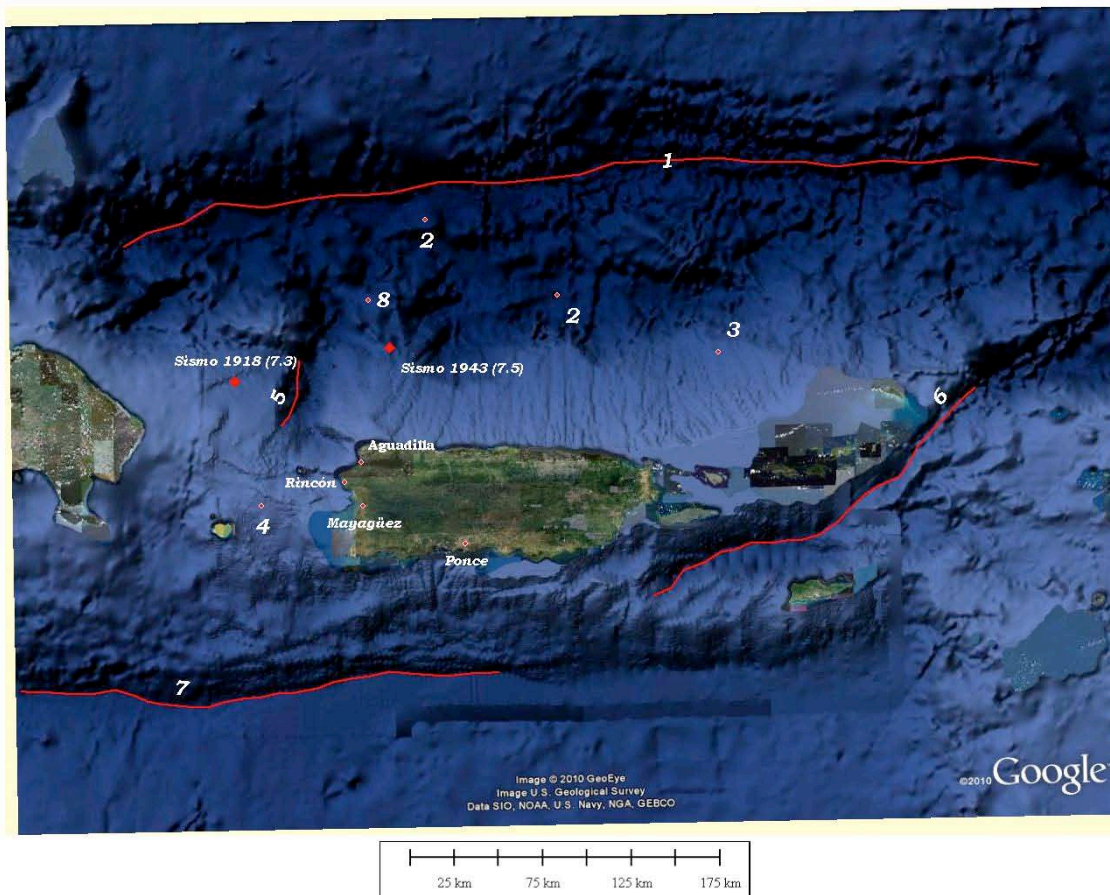


Fig. 2. Zonas sísmicas cercanas a la Isla de Puerto Rico. (1) la Trinchera de PR, (2) las fallas de la Pendiente Norte y Sur de PR, (3) las fallas al noreste en la Zona del Sombrero, (4), el Pasaje de la Mona, (5) las fallas al oeste en el Cañón de la Mona, (6) al este las depresiones de Islas Vírgenes y Anegada, (7) la depresión de Muertos al sur y (8) la zona sísmica de los 19 grados norte.

Deslizamientos de 1985 en Ponce, Puerto Rico

La comunidad de Mameyes en Ponce (Figura 2) fue afectada el 5 de octubre de 1985 por un deslizamiento de bloques rocosos (principalmente calizas) y lodo. La causa del suceso fue la combinación del agua de lluvia (torrencial) y la inestabilidad de la ladera donde se encontraba la comunidad. Los asentamientos humanos se produjeron sin la debida autorización de los cuerpos gubernamentales. Esos terrenos carecían de servicios sanitarios, por lo cual proliferó el uso indebido de pozos sépticos. Durante la noche previa al evento, la tormenta "Isabel" se concentró en la región noreste de Ponce, donde el dato mayor de precipitación por unidad de tiempo fue de 7 cm/h. Esta

tormenta fue catalogada como un evento hidrometeorológico típico de 100 años de repetitividad. Como consecuencia de las lluvias acumuladas por el evento y las características de la ladera de la comunidad de Mameyes, se activa el deslizamiento de roca y lodo con un saldo de 129 muertos, el más grande hasta el momento en la historia de los Estados Unidos de Norteamérica (Jibson, 1986) y uno de los más significativos en el Caribe.

Comentario sobre eventos geológicos y asentamientos humanos

La proximidad de las zonas urbanas a áreas de alta amenaza geológica debe considerarse como un elemento prioritario, tanto para el diseño constructivo en dichas zonas como para estudios de actividades comunes en ellas. Para que los riesgos geológicos puedan ser considerados apropiadamente, es necesario tener presente las características de los eventos geológicos, la exposición de los asentamientos humanos a los eventos y la capacidad de la sociedad para prevenir, reaccionar y mitigar estos eventos. Dicho esto, es posible relacionar como características inherentes de los eventos geológicos su intensidad, frecuencia, duración, localización y capacidad como detonante de nuevos eventos. También, podemos relacionar la evaluación de las mejores zonas para desarrollo con zonas de menor exposición a la amenaza. Por otro lado, la capacidad de la sociedad para prevenir, reaccionar y mitigar los eventos consiste en la facultad del ser humano para recuperarse de los mismos con rapidez y resiliencia. Esto es, la sociedad y los espacios utilizados por la misma deben facilitar el amortiguamiento de los cambios causados por los eventos geológicos, además de permitir la fluidez de actividades que ayuden a la recuperación de los ciudadanos y de la infraestructura. Los eventos naturales de tipo geológico que se tratan en este artículo son los terremotos, los tsunamis y la inestabilidad de laderas. Aunque en el Caribe no son pocos los de eventos geológicos de potencial peligrosidad para los asentamientos humanos (dentro de éstos los urbanos); aquí se han seleccionado sólo tres (terremotos, tsunamis e inestabilidad de laderas) debido a su impacto más directo y desastroso en la Isla de Puerto Rico. Las características inherentes de estos eventos geológicos, además de la capacidad de los grupos sociales ante éstos, dentro del entorno urbano se exponen a continuación.

Algunas consideraciones físicas sobre los eventos geológicos.

Terremotos

Los terremotos ocurren frecuentemente en la región del Caribe (Figura 3), originados por el movimiento relativo entre la placa del Caribe y las placas de Norte y Sur América. Es factible sostener que las personas que residen en el Caribe normalmente desconocen, en su mayoría, esta situación debido a que muchos de los fenómenos telúricos ocurren con una intensidad muy baja para ser percibida por el ser humano sin la ayuda de la tecnología. Además, algunos eventos de intensidad significativa ocurren muy distantes o muy profundos con respecto a las ciudades, pueblos o áreas urbanas, los cuales no pueden ser percibidos, a menos que se cuente con el equipo técnico adecuado. El movimiento causado por los sismos puede originarse tanto en el suelo de los océanos como en regiones continentales y otros. El movimiento entre placas puede liberar diferentes cantidades de energía. Así se puede alcanzar niveles que provocan la sacudida de objetos tan pesados como edificios, puentes, tanques hídricos y de combustibles, etc. La duración de la sacudida puede variar de pocos segundos a pocos minutos, pero es un periodo suficiente como para producir cambios significativos en la superficie del terreno y daños en los asentamientos humanos. En los casos que un movimiento vertical ocurra en el suelo oceánico con una intensidad igual o mayor de 6.5 en la escala de Richter, los terremotos pueden ser detonantes de tsunamis, los cuales son un riesgo geológico para los asentamientos humanos en las costas. Normalmente se originan casi consecutivamente al movimiento entre placas. Es necesario clarificar, sin embargo, que la llegada del tsunami a los asentamientos costeros dependerá de la cercanía de la costa al epicentro del terremoto y del relieve del fondo marino. El epicentro es el punto en la superficie de la Tierra que se encuentra exactamente sobre el punto de rompimiento entre las dos placas [que se llama hipocentro]. Además, los eventos sísmicos también son los detonantes del fenómeno de licuefacción en regiones aluviales y de la inestabilidad de taludes.

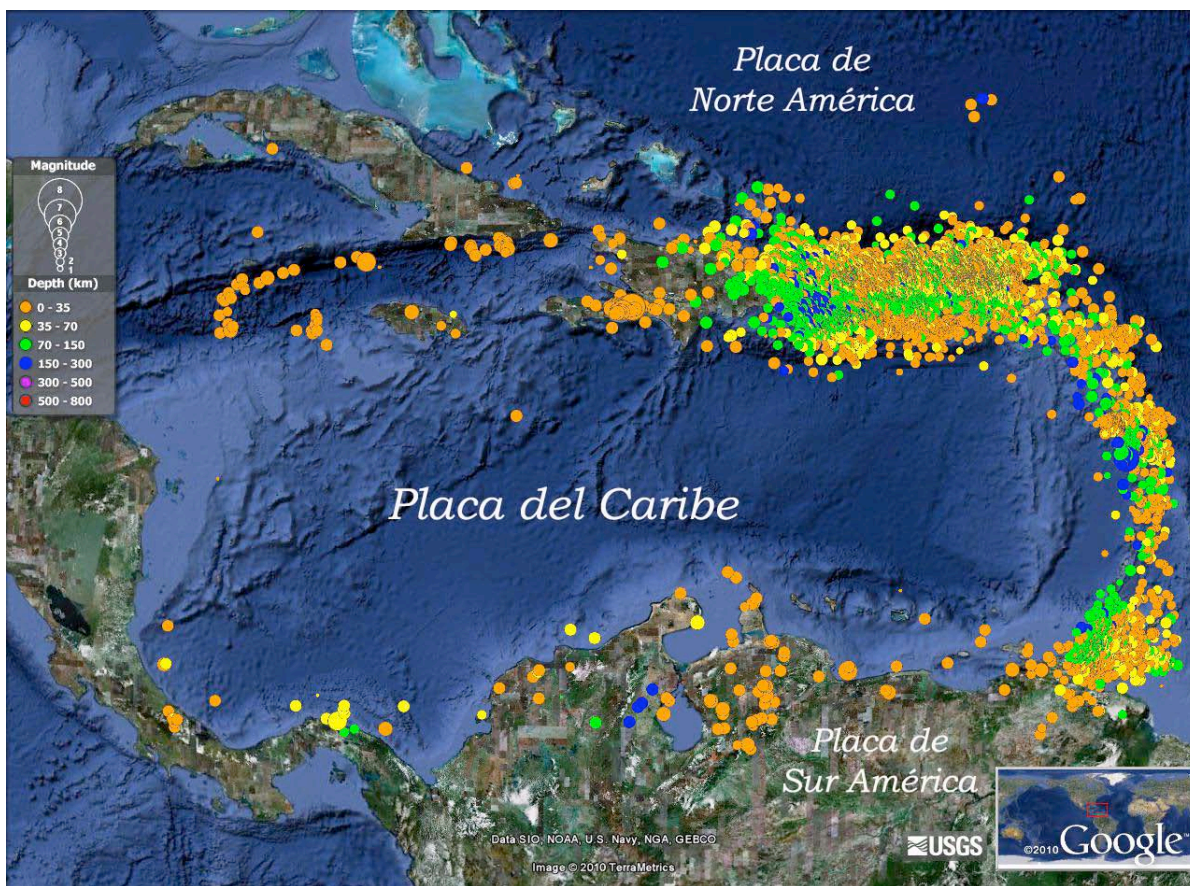


Fig. 3. Epicentros de sismos ocurridos entre las latitudes 9°-23° Norte y las longitudes 60°-83° Oeste desde 1 de enero de 2008 hasta el 31 de octubre de 2010. El límite entre las placas de Norte y Sur América con respecto a la placa del Caribe se establece a base de la distribución de los epicentros.

Inestabilidad de laderas

La inestabilidad de laderas se relaciona con varios factores como la hidrología, las características de la pendiente, la escorrentía, la cubierta vegetal y los cambios antrópicos creados en las laderas topográficas. En principio, las laderas pueden colapsar, deslizarse o fluir si la fuerza de gravedad a la cual están sujetas favorece el movimiento al sobrepasar las fuerzas que mantienen a la masa en su lugar original. La causa de movimiento de la masa desplazada es la gravedad. Aunque, existen factores que actúan como catalizadores (ej. cantidad de escorrentía o cubierta vegetal) o como detonantes (ej. la precipitación). La precipitación puede provocar el que una masa sobrepase el umbral de equilibrio entre las fuerza de fricción y la fuerza de gravedad. Una vez este equilibrio se rompe, la masa entra en un estado dinámico. Como

resultado, la inestabilidad de laderas presenta una correlación con periodos de alta precipitación (como la época de huracanes) o con periodos extensos de precipitación debido a la saturación progresiva del suelo. Además, otros ejemplos que actúan como detonantes son los terremotos y las erupciones volcánicas.

Los eventos de inestabilidad de laderas ocurren con frecuencia en el Mundo y son diversos en cuanto a la intensidad. Es posible que se produzcan inestabilidades a pequeñas, medianas y grandes escalas; pero al igual que los terremotos y otros fenómenos geológicos, a medida que aumenta la magnitud del evento, su frecuencia disminuye. Se debe indicar que la localización de la mayoría de estos procesos se da en las regiones tropicales y subtropicales, donde su frecuencia es más significativa (Hong et al., 2007). Esos movimientos de masa varían temporalmente, desde movimientos muy lentos hasta súbitos y rápidos. Se ha determinado que la inestabilidad de taludes puede ser un factor detonante de otros eventos, así se pueden producir inundaciones cuando los materiales inestables son de un volumen determinado y alcanzan cuerpos de agua, además es posible que generen tsunamis, si el material envuelto es de un volumen significativo y llega al mar, o en el mismo fondo del mar

Otros aspectos relevantes

El nivel de predicción de los eventos geológicos es generalmente muy diferente a otros tipos de eventos naturales; como lo son eventos climáticos, por dar un ejemplo. La cantidad de tiempo en que puede generarse una señal de alarma para eventos como terremotos, tsunamis y de inestabilidad de laderas es en principio más corto que el periodo necesario para algunos fenómenos climáticos como las vaguadas, tormentas tropicales o los huracanes. Por tanto, la planificación urbana basada en la consideración de dichos eventos de manera preventiva resultará ser más eficiente que los métodos que carecen de dicha consideración.

Consideraciones de los eventos geológicos en cuanto a la capacidad de la sociedad para prevenir, reaccionar y mitigar

Uno de los pasos para sobrellevar los eventos geológicos es la prevención. Esto incluye el diseño de planes de evacuación, el acervo de materiales de primera necesidad y la educación en esta materia. La implementación de estos tres pasos asegura una reacción efectiva durante el evento geológico y facilita el inicio del siguiente paso: la mitigación, la cual depende también de la situación económica y social del país. La capacidad para la mitigación del evento geológico se podría visualizar a través del Índice de Desarrollo Humano (IDH), la Paridad de Poder Adquisitivo (PPA) y; en un menor grado, mediante el Producto Interno Bruto (PIB). La capacidad de un país para atender eventos geológicos no se limita a cuánto recurso económico posee, sino a cómo se utiliza ese recurso y cuántas iniciativas de educación y coordinación acompañan al mismo. Al determinar qué países pueden mitigar mejor un evento geológico se debe considerar más allá de su PIB, el cual limita a una visión exclusivamente monetaria. Por otro lado, indicadores como el IDH y el PPA ayudan a describir la capacidad un país ante eventos naturales más allá de un marco simplemente económico.

En este sentido, los planes de evacuación deben ser diseñados a la medida del grupo o área para la cual se ha de aplicar el plan. Esto implica que los planes de evacuación para escuelas no necesariamente serán los mismos que los planes de evacuación para los hospitales, las oficinas de gobierno o comunidades. En el diseño del plan deben participar todos los sectores involucrados (gerenciales, empleados, usuarios de servicios, etc.). Por otro lado, se debe indicar que el diseño de un plan de evacuación no sustituye la necesidad de su ensayo.

Finalmente, es sumamente importante considerar los mismos renglones de preparación, reacción y mitigación para la protección de la infraestructura. El diseño preventivo de los asentamientos humanos, particularmente aquellos que concentren gran parte de la población, como las áreas urbanas, deben ser una prioridad ante los eventos geológicos. Por tanto, el desarrollo, la implementación, la revisión de códigos de construcción y la selección de áreas de menor amenaza geológica para el desarrollo de los asentamientos humanos son claves. Para esto se debe escoger el personal adecuado para llevar a cabo las tareas de códigos de construcción y diseño urbano por una parte (ingenieros, arquitectos y planificadores) y la selección de áreas de menor

amenaza geológica para el desarrollo de los asentamientos humanos por otra parte (geólogos y geofísicos). Es evidente que los países que no cuenten con equipos de trabajo, como los antes mencionados, en sus agencias gubernamentales tendrán una gran vulnerabilidad ante los eventos geológicos.

La vulnerabilidad de las zonas urbanas en Puerto Rico

Las zonas urbanas (Figura 4) en PR poseen una amenaza por eventos geológicos debido a su localización geográfica en el Caribe, la cual como se ha demostrado, tiene actividad sísmica, tsunamis e inestabilidad de taludes. Entonces, sobre la base de los datos sísmicos de la región reportados por Jansma & Mattioli, (2005); Grindlay y otros (2005) y del historial de eventos de inestabilidad de laderas y tsunamis de López-Venegas (2008) Jibson (1986) y Doser y otros (2005), se espera que el riesgo geológico debido a la amenaza por eventos geológicos continúe. No obstante, cabe preguntar, ¿cuánto es el riesgo geológico en PR debido a su vulnerabilidad? Para esto es relevante la resistencia, la resiliencia y la exposición de los asentamientos humanos. Tanto la resistencia como la resiliencia están relacionadas al nivel de preparación previo al evento geológico. Lamentablemente, la preparación necesaria no ha sido suficientemente difundida entre los grupos de la sociedad puertorriqueña, donde aún existe desinformación y desarticulación. Así el trabajo realizado por la Red Sísmica de Puerto Rico, la Sociedad Geológica de Puerto Rico, la Academia y otros organismos no han sido suficientes para sensibilizar adecuadamente a la sociedad, las agencias de gobierno y otros grupos. Las iniciativas individuales o grupales existentes se caracterizan por ser muy escasas e inconexas entre sí. Aunque existe al menos una iniciativa que promete ser muy fructífera por envolver agencias gubernamentales, además de expertos en los eventos geológicos en planes de prevención y acción para las zonas costeras en caso de tsunamis. En esta campaña se han identificado las zonas vulnerables por exposición a tsunamis, se han instalado mareógrafos y se practican periódicamente simulacros para algunas secciones costeras, incluyendo escuelas en el oeste de PR, todo lo cual se ha desarrollado de manera integrada y coordinada. Esto debe servir de ejemplo para otras iniciativas en el País, particularmente en las áreas donde se concentre mayor densidad poblacional como lo

son las zonas urbanas. Por otra parte, la exposición de los asentamientos humanos a eventos geológicos es evidente. Un ejemplo de esto son las zonas urbanas en PR, las cuales son particularmente vulnerables por la cantidad existente próximas a las costas (figura 4).

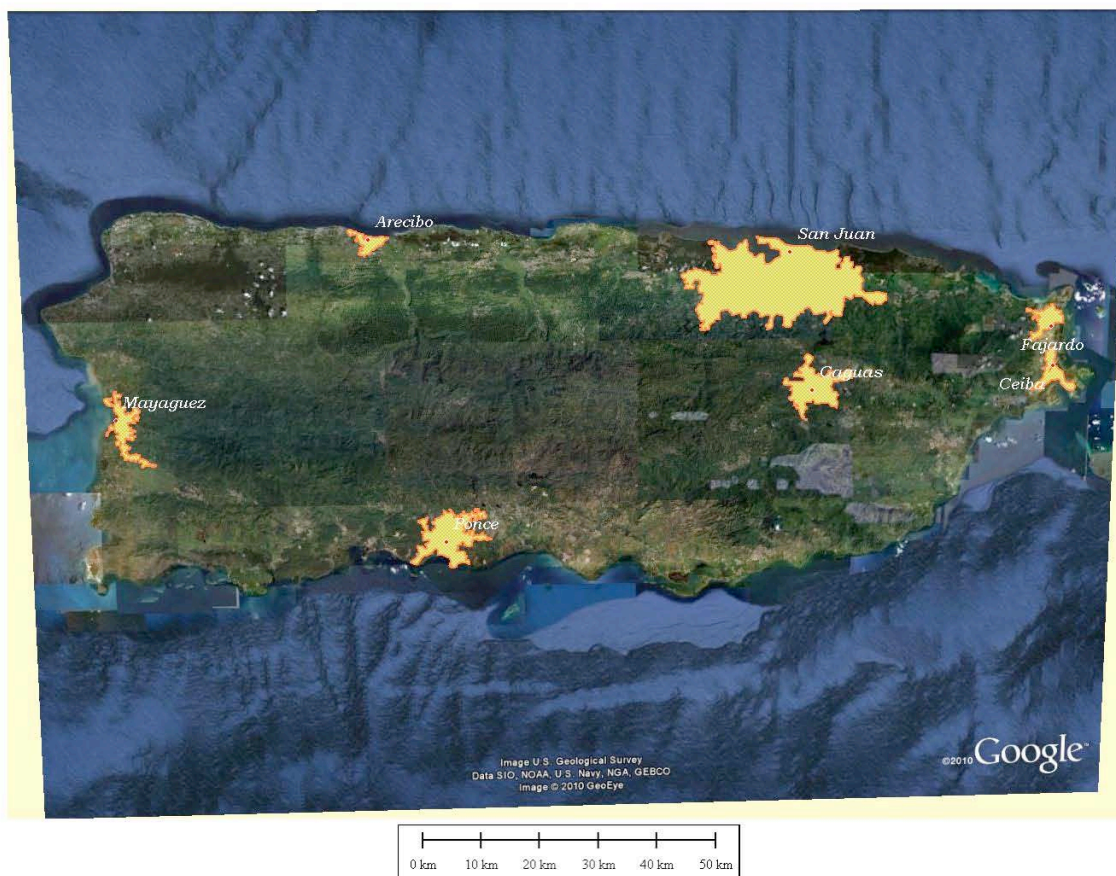


Fig. 4 Zonas urbanas y desarrolladas en la Isla de Puerto Rico con un área mayor a 10 km².

Además de integrar los grupos de la sociedad puertorriqueña para actuar antes, durante y después de un evento geológico, es necesario reevaluar las condiciones de la infraestructura de dichas zonas. La infraestructura de las zonas urbanas de PR es una de las mejores en el Caribe (aunque no así a nivel mundial). En PR existen códigos de construcción, los cuales al ser aplicados con todos los principios profesionales y éticos necesarios, deben disminuir la vulnerabilidad en las zonas urbanas de PR. A pesar de esto, el arreglo urbano en PR no necesariamente facilita la

acción durante eventos geológicos como lo es por ejemplo la vulnerabilidad estructural de escuelas en PR, las cuales han sido identificadas como débiles estructuralmente a los terremotos debido al efecto de la columna corta (Rojas Mercedes, 2005). Esto representa un problema durante los eventos geológicos porque además de contener parte de las futuras generaciones del País; las mismas se utilizan típicamente como refugios para damnificados.

Dos son las dificultades identificadas en la vulnerabilidad que deben ser superadas en las zonas urbanas de PR. Así, atendiendo a los elementos, Grupos Sociales e Infraestructuras, es posible apuntar un conjunto de acciones.

Grupos sociales:

- ✓ confeccionar y articular de planes de emergencia y su práctica periódica en el hogar, lugar de trabajo y comunidad
- ✓ desarrollar actividades y estructuras de los centros urbanos tomando en consideración los sismos, los tsunamis y la potencialidad de inestabilidad de laderas
- ✓ reflexionar sobre cómo acercar servicios de primera necesidad a las personas en zonas de alta densidad poblacional en caso de un sismos y tsunamis
- ✓ desarrollar planes para controlar epidemias en un contexto general para la mitigación de eventos geológicos
- ✓ identificar de forma precisa las zonas que históricamente han tenido problemas por inestabilidad de taludes
- ✓ identificar y cartografiar los posibles y futuros escenarios susceptibles a eventos geológicos en las zonas urbanas
- ✓ utilizar personal capacitado para orientar sobre eventos geológicos y zonas de gran vulnerabilidad.

Infraestructura:

- ✓ utilizar personal capacitado para identificar zonas de gran riesgo y vulnerabilidad a eventos geológicos
- ✓ mejorar - reforzar las estructuras de escuelas en PR
- ✓ velar por el estricto cumplimiento de los códigos de construcción y su actualización
- ✓ desalentar la práctica de construcción artesanal debido a su susceptibilidad a sismos e inestabilidad de taludes
- ✓ evitar acometer la construcción inmediata a la costa susceptible a tsunamis
- ✓ re-analizar el diseño de carreteras paralelas a la costa en zonas con riesgo de tsunami

- ✓ realizar un registro sobre todas las estructuras en PR que tienen el efecto de la columna corta

Conclusiones

En general, en las zonas urbanas de Puerto Rico existe un riesgo geológico debido a la amenaza de los eventos y a la vulnerabilidad por exposición, resistencia y resiliencia de la sociedad. La situación de vulnerabilidad está agravada por la inexistencia de protocolos integrados y coordinados entre todos los grupos de la sociedad que faciliten la asimilación del evento. Esto limita la capacidad para la pronta recuperación y resiliencia a eventos geológicos. Esta situación se hace más compleja a causa de la debilidad de los centros de refugio y la proliferación de la construcción artesanal, que hacen dudar de la capacidad de la infraestructura como una preparada para enfrentar, adecuadamente los eventos geológicos. La adopción de prácticas para el fortalecimiento de la sociedad puertorriqueña, sus grupos y la infraestructura del país son alternativas que deben evaluarse seriamente si se desea alcanzar el objetivo de formarse como un país eficiente en el proceso de enfrentar los eventos geológicos que son inherentes a la región del Caribe.

Agradecimiento:

La autora desea agradecer a dos revisores anónimos cuyos comentarios contribuyeron al mejoramiento del artículo.

Referencias:

Argüello-Rodríguez, M. (2004). Riesgo, vivienda y arquitectura. *Buscado en <http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>*

Berrocal Vargas (2008). *Evaluación y análisis de la vulnerabilidad de la población de la Fortuna de San Carlos a la actividad volcánica del volcán Arenal, Costa Rica*. ISBN: 978-84-691-7411-1.

Cardona, O.D. (2001). *Modelación numérica para la estimación holística del riesgo sísmico urbano, considerando variables técnicas, sociales y económicas*. *Buscado en <http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>*

- Doser, D., Rodríguez, C. & Flores, C. (2005). Historical earthquakes of the Puerto Rico-Virgin Island region. *Active tectonic and seismic hazards of Puerto Rico, the Virgin Islands, and offshore areas*. Mann, P. (Ed.) (p. 103-114).
- Fielding Reid, H. & Taber, S. (1919). The Porto Rico Earthquake of 1918. Reporte de Earthquake Investigation Comission. Documento No. 269. (74 p.)
- Grindlay, N.R., Mann, P., Dolan, J.F. & van Gestel, J. (2005). Neotectonics and subsidence of the Puerto Rico-Virgin Islands margin in response to the oblique subduction of high standing ridges *Active tectonic and seismic hazards of Puerto Rico, the Virgin Islands, and offshore areas*, Mann, P. (Ed.) (p. 31-60).
- Hong, Y., Adler, R., & Huffman, G. (2007). "Use of landslide remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility". *Natural Hazards*, 43(2), 285-294. DOI 10.1007/s11069-006-9104-z.
- Jansma, P.E. & Mattioli, G.S. (2005). GPS results from Puerto Rico and the Virgin Islands: Constraints on tectonic settings and rates of active faulting. *Active tectonic and seismic hazards of Puerto Rico, the Virgin Islands, and offshore areas*, Mann, P. (Ed.) (p. 13-30).
- Jibson, R.W. (1986). "Evaluation of landslide hazards resulting from the 5-8 October 1985, storm in Puerto Rico". *US Geological Survey, Open File Report 86-26*, 43
- Lavell A. (1999). *Gestión de riesgos ambientales urbanos*. Buscado en <http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>
- López-Venegas, A. M., U ten Brink and E. Geist (2008). "Submarine landslide as the source for the October 11, 1918 Mona Passage tsunami: Observations and modeling". *Marine Geology*, (254) doi:10.1016/j.margeo.2008.05.001.
- Lugo-Hubb, Cordero Estrada & Zamorano-Orozco (1995). *Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, Mexico*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12 (1). (p. 52-67).
- Mann, P. (2005). Introduction. *Active tectonic and seismic hazards of Puerto Rico, the Virgin Islands, and offshore areas*, Mann, P. (Ed.) (p. 1-12).
- Mercado Irizarry, A. & Justiniano Sepúlveda (2003). Tsunami coastal mapping for Puerto Rico and adjacent islands. *Puerto Rico Tsunami Warning and Mitigation Program*. Recuperado de <http://www.library.ubc.ca/pubs/apastyle.pdf>. (113 p.)
- Red Sísmica de Puerto Rico. (Recuperado en 30/09/2010). Terremoto de 1918. Recuperado de <http://redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/terr1918.php>. 338 palabras

Rojas Mercedes, N.J. (2005). Consideración de las columnas cortas en la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Tesis de Maestría. (p.126).

USGS (2010). Earthquake Hazard Program. Recuperado en http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_rect.php