

Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río
Vol. 17, No.2 abril-junio, 2015

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica para la Ciudad de San Cristóbal

Evaluation of the seismic vulnerability in San Cristobal City

Alexis Ordaz Hernández¹, José Ramón Hernández Samtana² y Abdo Saeed Mohammed³

¹Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Asistente del Departamento de Geología, de la Universidad de Pinar del Río. Calle Martí No. 300 entre 27 de Noviembre y González Alcorta, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: 728617. Correo electrónico: alexisordaz@geo.upr.edu.cu

³Máster en Geología, Estudiante de Postgrado de la Universidad de Pinar del Río. Calle Martí No. 300 entre 27 de Noviembre y González Alcorta, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: abdo.saeed@estudiantes.upr.edu.cu

²Doctor en Ciencias Geográficas, investigador Titular A. del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, C. P. 04510, México, D. F. Teléfono: 5622-4351, ext. 45473, 45478. Correo electrónico: santana@igg.unam.mx

RESUMEN

La investigación tiene el objetivo de definir la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de San Cristóbal, Cuba. El área de estudio está próxima al epicentro estimado para el terremoto del año 1880, considerado el más fuerte en Cuba Occidental. En el estudio, se emplearon algunos indicadores contenidos en la guía metodológica: "Determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en escenarios físicos" del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba. La cartografía resultante se editó sobre plataforma de sistema de información geográfica, permite la manipulación de información numérica y alfanumérica referente a aspectos tan diversos como el patrimonio construido, la población, las condiciones económicas locales y todas de influencia significativa en la gestión del riesgo sísmico. Dentro de los resultados más importantes, de acuerdo a su aplicación inmediata, se encuentran los mapas de vulnerabilidad estructural, social, económica y el mapa de vulnerabilidad sísmica total.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica-San Cristóbal, Terremoto, Patrimonio construido.

ABSTRACT

The research has the objective to define the seismic vulnerability in San Cristobal city, Cuba. The area of study is near the epicenter of an earthquake occurring in 1880; which has been considered as the most powerful earthquake ever in the West of Cuba. In the research, there were used some indicators that are within the methodological guide: "Determination of the hazard, vulnerability and seismic risks in physical sceneries" of the National Centre of Seismic Researches of Cuba. The resulting cartography was edited on a platform of a geographic system of information that allows the manipulation of the numerical and alphanumerical information regarding to different aspects like the heritage built, the population, the local economic conditions and all of the have a great significance in the management of the seismic risks. Some of the most outstanding results, because of their immediate application, are the maps of the structural, social and economic vulnerability and the map of the total seismic vulnerability.

Key words: Seismic Vulnerability-San Cristobal, Earthquake, Heritage built.

INTRODUCCIÓN

San Cristóbal fue fundada en 1830 y no fue hasta la segunda mitad del siglo XX que superó la barrera de los 5 000 habitantes. La economía se ha sustentado en la agricultura (caña de azúcar y tabaco), en la ganadería y en el sector agroindustrial (centrales azucareros). La red de servicios médicos está bien desarrollada con un hospital general y un policlínico docente, además de nueve consultorios médicos de la familia. En 1970, el perímetro urbano de San Cristóbal encerraba 2 500 viviendas y 13 800 habitantes aproximadamente, confiriéndole la categoría de pueblo de primer orden. En la actualidad se aproximaba a las 6 000 viviendas y 20 500 habitantes, lo que clasifica como ciudad de tercer orden.

Muy cerca de la mencionada ciudad, se ubica el posible epicentro, del que se estima fue el sismo de mayor magnitud (6,0 Richter) en Cuba occidental ocurrido el 23 de enero de 1880 (Viñes y Salteraín, 1880; Salteraín, 1884; Chuy y González, 1980; entre otros trabajos). La prensa de la época (periódicos El Triunfo y Diario de la Marina) le dio cobertura a tan dramático suceso, el cual destruyó gran parte de las construcciones de San Cristóbal.

Este antecedente sísmico, unidos a otros eventos de menor energía (no perceptibles por la población) registrados por la estación sismológica ubicada en Soroa (Municipio Candelaria), crean una situación de peligro para la población y la infraestructura emplazada en el área. De esta problemática surge la necesidad de evaluar el nivel de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de San Cristóbal, objetivo de este artículo.

Existen diferentes propuestas para evaluar el riesgo (R) frente a determinado fenómeno, pero existe consenso dentro de la comunidad científica, en que es necesario un correcto análisis del peligro (P) y de la vulnerabilidad (V) (Ayala, 2002; González, 2002 y Cardona, 2003). De esta forma la ecuación más difundida internacionalmente para el cálculo de riesgo viene dada por $R=P*V$. En el caso de Cuba, desde la década de los años 1990, se han realizado importantes trabajos vinculados específicamente a la determinación de la vulnerabilidad sísmica (Oficina Nacional de Normalización, 1999; Oliva et al., 2004; Calderín y Rodríguez, 2005; Márquez et al., 2005; Ríos et al., 2005; entre otros).

Independientemente de las predicciones, que se puedan alcanzar aplicando la ciencia y la ingeniería, éstas serán inevitablemente parciales e incompletas y en consecuencia el énfasis debe estar en la gestión o manejo de la seguridad (Blockley, 1992). Por tales motivos, los resultados alcanzados hasta el momento en Cuba anteriormente citados, como los que se presentan en este trabajo, nunca deben considerarse como definitivos; sino como herramientas de trabajo para consolidar la gestión de riesgo local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de la vulnerabilidad sísmica, se utilizó como base metodológica, la establecida por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba (CENAIIS): "Determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en escenarios físicos" (CENAIIS, 2009). Los resultados obtenidos en este trabajo, deben asumirse como una primera aproximación a la evaluación de la vulnerabilidad y ofrece a los decisores (Gobierno local y Defensa Civil), una herramienta de trabajo.

La investigación demandó del uso simultáneo de información numérica y alfanumérica, referente a aspectos tan diversos como el patrimonio construido, la población, las condiciones económicas locales, todas de influencia significativa en la gestión del riesgo. Se empleó la manzana como unidad de referencia y la base de datos asociada está preparada para su representación gráfica en mapas temáticos. La base de datos consta de una serie de capas, que contiene diferente información catastral, en ficheros con extensión ".tab", perteneciente al programa de cartografía digital "MapInfo".

Las características estructurales del fondo habitacional, particularidades de la población, la percepción de riesgo, entre otras; fueron algunas de las capas (layers) que conforman el proyecto de sistema de información geográfico diseñado para este fin. Culminado el proceso de elaboración de las estructuras de las bases de datos y el llenado de las mismas, estas quedan listas para su consulta. Las consultas se pueden realizar mediante el módulo "Query/SQL Select", colocando las condicionantes según la problemática a resolver. La plataforma SIG, además ofrece otra serie de posibilidades, como las operaciones algebraicas entre columnas y las aplicaciones estadísticas.

La información primaria, para la evaluación de la vulnerabilidad, fue recopilada en el terreno por los autores de este artículo, con la colaboración de estudiantes de la carrera de geología y la asesoría de ingenieros civiles de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA). La vulnerabilidad sísmica total (V_{st}) se estima a partir de la suma de la vulnerabilidad estructural (en esta etapa solo se valoró el fondo habitacional), económica y social. Como se explicó anteriormente, este resultado debe asumirse como un primer acercamiento a la vulnerabilidad sísmica. En el futuro se debe trabajar en definir la vulnerabilidad no estructural, funcional y de objetos de obras de importancia para el territorio.

La metodología propuesta por el CENAIIS, contempla tres indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad estructural (V_e): Fondo habitacional, edificaciones de importancia y puentes. En esta primera etapa sólo se evaluará la vulnerabilidad del fondo habitacional. Según la citada metodología, la vulnerabilidad del fondo habitacional es la de mayor peso en la evaluación de la V_e .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del trabajo en el terreno, se pudieron definir las edades de las viviendas (Fondo habitacional) de la ciudad de San Cristóbal. El análisis en detalle de la edad es una herramienta que, en ocasiones permite inferir el estado técnico y la tipología constructiva. Se definieron principalmente siete periodos constructivos: Hasta 1900, 1901 a 1920, 1921 a 1940, 1941 a 1960, 1961 a 1980, 1981 al 2000 y del 2001 al 2012.

Un segundo aspecto tratado en la vulnerabilidad estructural, se vincula con los tipos de estructuras presentes en el área. En este sentido, se identificaron seis tipos de estructuras, de las doce propuestas por la metodología:

- Estructuras de adobe (E1).
- Mampostería no reforzada (E2).
- Mampostería no reforzada con pisos concreto reforzado (E3).
- Pórticos de hormigón armado sin diseño sismorresistente (E4).
- Muros hormigón armado sin diseño sismorresistente (E5).
- Estructuras de madera (E6).

Las estructuras E2 y E4 son las predominantes en las 231 manzanas, donde se desarrolla el fondo habitacional de San Cristóbal. Según la metodología, se debe efectuar un análisis en detalle del estado técnico de las construcciones. El estado técnico influye directamente en la selección de la clase de vulnerabilidad. Como resultado de este análisis, se comprobó que 14 manzanas presentan más del 50% de sus viviendas con algún tipo de daño en sus estructuras. Las afectaciones más recurrentes fueron: pudrición de la madera, filtraciones, manchas de humedad, desconchado en placas y grietas en muros. Del análisis conjunto de los elementos abordados, se estimó que 23 manzanas presentan una alta vulnerabilidad estructural, relacionadas fundamentalmente con estructuras de mampostería no reforzada, las cuales presentan daños estructurales.

El procedimiento para la elaboración del mapa de vulnerabilidad estructural, considera las características del fondo habitacional (Edad de las construcciones, estado técnico y tipo de estructura) (*figura 1*). La vulnerabilidad moderada es la más generalizada y se vincula con la mampostería no reforzada en buen estado técnico o pórticos de hormigón armado sin diseños sismorresistente (177 manzanas).

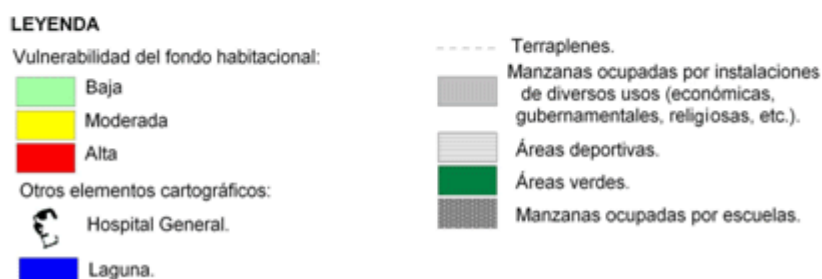
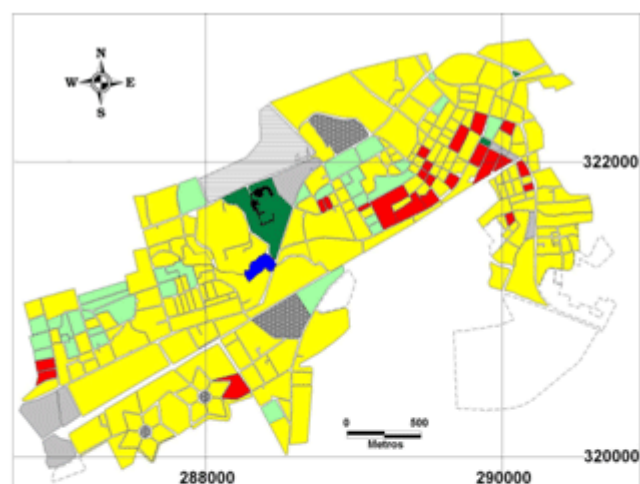


Figura 1. Mapa de vulnerabilidad estructural de la ciudad de San Cristóbal.

Posteriormente se evaluó la vulnerabilidad económica, para lo cual se tuvo en cuenta las condiciones económicas particulares de la ciudad de San Cristóbal. Se consideraron tres indicadores: (1) Zonas industriales en zonas de riesgo, (2) Presencia de instalaciones turísticas, tiendas recaudadoras de divisas, almacenes de víveres o materias primas, etc. y (3) Ejecución del presupuesto de reducción de desastres.

Como resultado, se identificaron nueve manzanas donde existe concentración de instalaciones generadoras de ingreso (talleres, tiendas, medianas industrias, almacenes, etc.), estas manzanas clasificaron como de alta vulnerabilidad económica. Además de otras 24 manzanas de vulnerabilidad económica media, donde al menos hay una de las instalaciones anteriormente mencionadas.

La vulnerabilidad social (*figura 2*), es otra de los tipos de vulnerabilidades consideradas en este estudio, en este caso su evaluación consideró tres indicadores: densidad poblacional, percepción del riesgo y el nivel de capacitación de la comunidad. La densidad de población se estimó en cantidad de habitantes para cada 100 m². Para el segundo y tercer indicador (percepción del riesgo y capacitación), fue necesario la aplicación de un cuestionario. Se utilizó la técnica de muestreo irrestricto aleatorio (MIA) con un nivel de significación del 5% para la obtención de la muestra de 378 habitantes en la ciudad de San Cristóbal y la técnica de muestreo aleatorio estratificado (MAE) con un nivel de significación de un 5% ($\alpha=0,05$) y

una precisión de 0,05 para el cálculo de la muestra en función de las manzanas (Calero, 1976).

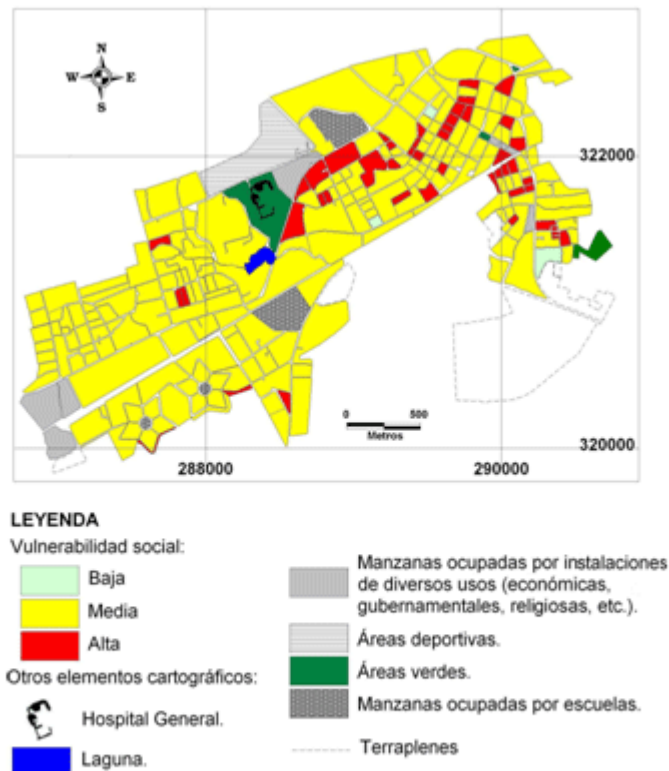


Figura 2. Mapa de vulnerabilidad social para la ciudad de San Cristóbal.

El cálculo del tamaño de muestra de los estratos se realiza con colocación o fijación proporcional, es decir, en función de la cantidad de habitantes por manzana. Atendiendo a la relevancia del peligro abordado y la poca cultura sobre el tema, se fue exhaustivo y en todos los casos se aplicó una mayor cantidad de encuestas que las requeridas por el MAE. Previo a la aplicación de las encuestas en cada manzana (como validación del instrumento), se aplicó la encuesta a 15 personas, con la intención de medir el nivel de asimilación de las preguntas.

Finalmente, se estima la vulnerabilidad sísmica total (*figura 3*) a partir de la suma de la vulnerabilidad del fondo habitacional, económica y social. En total se identificaron 17 manzanas con vulnerabilidad sísmica alta. Como se explicó anteriormente, este resultado debe asumirse como una primera aproximación de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de San Cristóbal. No obstante, estos resultados mejoran el nivel de conocimiento vinculado a la infraestructura expuesta a eventos sísmicos, que hasta el momento se tenía. Así como también, identifica los sectores menos preparados para enfrentar este tipo de fenómenos (vulnerabilidad social).

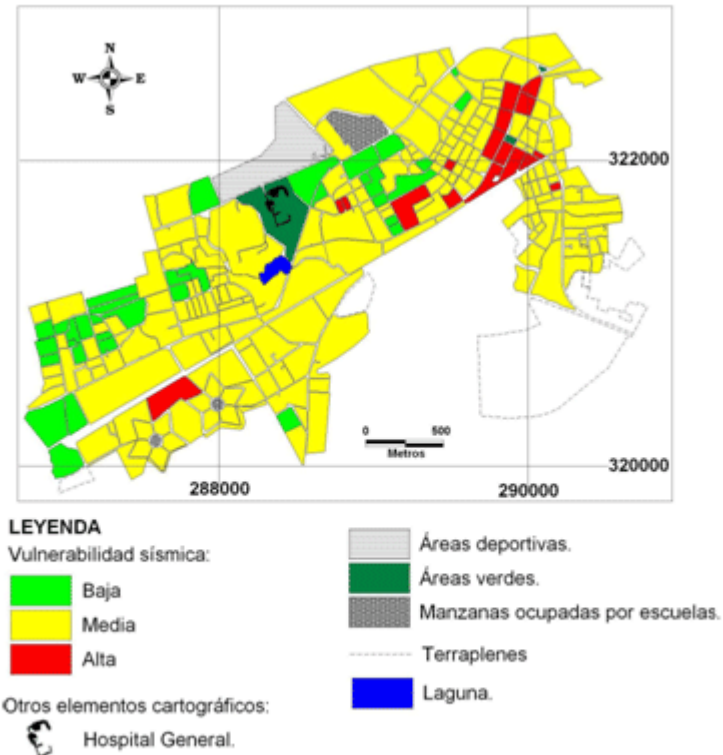


Figura 3. Mapa de vulnerabilidad sísmica para la ciudad de San Cristóbal.

A partir de estos resultados, el gobierno local podrá trazar estrategias consistentes, encaminadas a reducir las vulnerabilidades identificadas. Las estrategias fundamentalmente deben ir dirigidas al reforzamiento de las estructuras más vulnerables, a la solución de patologías constructivas, a elevar la percepción de riesgo de la población, entre otras. Evidentemente, las medidas adoptadas en este sentido garantizarían la reducción de la vulnerabilidad sísmica, lo que inevitablemente garantizará un desarrollo local sustentable para las nuevas generaciones.

CONCLUSIONES

- La evaluación de la vulnerabilidad sísmica para la ciudad de San Cristóbal, demostró la existencia de estructuras proclives a sufrir daños estructurales en caso de solicitudes sísmicas. La categoría de vulnerabilidad moderada, es la más generalizada (177 manzanas) y se vincula con la mampostería no reforzada o pórticos de hormigón armado sin diseños sismorresistente.
- Desde el punto de vista económico, en caso de un sismo, solamente se revelaron nueve manzanas de alta vulnerabilidad económica. Mientras que desde una óptica social, se identifican 44 manzanas con alta vulnerabilidad, la baja percepción de riesgo, fue uno de los indicadores de mayor incidencia.

- La combinación de la vulnerabilidad estructural, social y económica, sugieren 17 manzanas con vulnerabilidad sísmica alta. Estas manzanas deben ser priorizadas en las estrategias de reducción de riesgos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, F. J. (2002). Riesgos naturales. Ed. Ariel, Barcelona, 1-1512 pp.
- Blockley, D. (1992). Engineering Safety, MacGraw-Hill International Series in Civil Engineering, London, 156p.
- Calderín, F. y Rodríguez, O. (2005). Estudio de la vulnerabilidad sísmica estructural del edificio porticado del mercado municipal de Santiago de Cuba. En 2do. Taller de Mitigación y Prevención de Desastres, Santiago de Cuba, UNAICC, 15p
- Calero, L. (1976). Estadística. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1-382.
- Cardona, O. D. (2003). Gestión integral de riesgos y desastres. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña, 390p.
- CENAI (2009). Determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en escenarios físicos. Guía Metodológica, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba, 36p.
- Chuy, T.J. y González, B.E. (1980). Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba. Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba (1), 18-32
- González de Vallejo, L.I. (2002). Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación, Madrid, 1-744.
- Márquez, P.I; García, J. y Morejón, G. (2005). Estimación de los daños en las construcciones de Santiago de Cuba a partir de la metodología propuesta por Hazus. En 2do. Taller de Mitigación y Prevención de Desastres, Santiago de Cuba, UNAICC, 11p.
- Oficina Nacional de Normalización (1999). Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción (Norma Cubana-46:1999), La Habana, 101 p.
- Oliva R., Márquez P.I. y Morejón G. (2004). Metodología integral para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en Cuba su aplicación en las construcciones seleccionadas. Reporte de Investigación. Fondos CENAI, 26p.
- Ríos, I.Y., Vega, N. y Noas, J.L. (2005). Algunos aspectos relacionados con la vulnerabilidad sísmica de Gibara, tratados a través de un programa de acción comunitaria. En 2do. Taller de Mitigación y Prevención de Desastres, Santiago de Cuba, UNAICC, 9p.
- Salterain, P. (1884). Ligera reseña de los temblores de tierra ocurridos en la Isla de Cuba. Anales de la Academia de Ciencias de La Habana (21), 203-218p.

- Viñes, B. y Salterain, P.P. (1880). Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salterain en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880. Ed. La Voz de Cuba, 1-68p.

Aceptado: Marzo 2015

Aprobado: Junio 2015

DrC. Alexis Ordaz Hernández. Profesor Asistente. Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río. Calle Martí No. 300 entre 27 de Noviembre y González Alcorta, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: 728617. Correo electrónico: alexisordaz@geo.upr.edu.cu