

Posible impacto socioeconómico por sismo de moderada magnitud. Aplicación a la ciudad de San Cristóbal, Cuba occidental

Socioeconomic Possible Impact for a Moderate Magnitude Seism. Application to San Cristóbal City, Western Cuba

Alexis Ordaz Hernández*

Recibido: 18/01/2019. Aprobado: 01/10/2019. Publicado en línea: 18/03/2020.

Resumen. El artículo aborda las pérdidas socioeconómicas esperadas por un sismo de moderada magnitud para la ciudad de San Cristóbal en el occidente de Cuba. Esta localidad experimentó un sismo con magnitud estimada de 6.0 grados Richter e intensidad VIII grados MSK el 23 de enero de 1880, el cual destruyó gran parte de la infraestructura de la época. En el trabajo se definen de manera precisa los niveles de peligrosidad sísmica en función de las características geológicas locales para los periodos de retornos (T) de 100 y 475 años. Posteriormente, se estiman los niveles de daños a la infraestructura residencial empleando información catastral y las matrices de probabilidad de daños diseñadas por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba (Cenais).

Para las condiciones actuales de vulnerabilidad estructural y los niveles de peligrosidad sísmica estimados, se pronostica que 5 680 viviendas sufrirán algún tipo de daño, esto en caso de que ocurriera un sismo similar al del 23 de enero de 1880. De igual forma, en función de la distribución de los habitantes en el espacio urbano, se pronostica que 67 personas queden sin hogar, 59 resulten heridas y una fallezca. La metodología empleada sirve de modelo para otros sitios en el entorno geográfico del Caribe que carezcan de evaluaciones básicas de estimaciones de daños frente a terremotos.

Palabras clave: Sismo, peligrosidad, vulnerabilidad estructural, pérdidas socioeconómicas.

Abstract. Contemporary history consistently confirms that earthquakes are a natural phenomenon of significant social impact. In reality, seismic episodes, especially in urban settings, trigger a series of alterations in everyday life that are extremely difficult to predict. This reality is far more severe in developing countries, characterized by financial structures that fall short to respond to major natural disasters. In the Caribbean region, studies to estimate socioeconomic losses resulting from the effects of natural phenomena are scarce, especially as related to earthquakes. This limitation restrains the proposals for risk mitigation plans for potential risk scenarios.

This investigation examines the foreseen socioeconomic losses associated with a moderate-intensity earthquake affecting San Cristóbal City, western Cuba. On 23 January 1880, this town was affected by an earthquake of magnitude 6.0 Richter Scale and intensity of VIII degrees MSK, the 23 January 1880, which destroyed a large portion of the infrastructure of the time. The study area has been at the core of several investigations in the 21st century; particularly, works have addressed geotechnical and tectonic aspects. Its history is sufficient to evolve to issues directly linked to local risk management, especially to estimate the socioeconomic impact under a hypothetical seismic scenario similar to the one experienced in 1880.

The methodology used allows a simple quantitative expression of potential socioeconomic damage in an urban scenario facing moderate-intensity earthquakes, and uses

* Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Universidad, Universitaria, 50110, Toluca de Lerdo, Estado de México, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6788-650X>. Email: alexisordaz.1978@gmail.com

the “urban block” as the basic information unit. This study assumes the unified definitions put forward in the meeting on *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* held in 1979 as theoretical framework. The methodological bases set in this meeting laid the general guidelines and basic elements to consider in order to estimate the potential human losses and effects on economic activities, should a disaster occur. More recent works have reinforced the methodology, including aspects such as resilience, scientific and technological capacity of communities, and exposure time, among other elements.

This work precisely defines seismic hazard levels according to local geological characteristics for return (T) periods of 100 and 475 years. Subsequently, household infrastructure damage levels are estimated using cadastral information and damage probability matrices elaborated by the National Center for Seismic Research of Cuba.

This research focuses exclusively on the analysis of the household sector. The map of structural vulnerability contains a comprehensive database of essential attributes, such as type of structure, technical condition, number of inhabitants per type of structure, area occupied by each structure, and number of levels, among others. At the same time, it does

INTRODUCCIÓN

La historia contemporánea ratifica sistemáticamente los sismos como un fenómeno natural de significativo impacto social. La realidad indica que los episodios sísmicos, especialmente en escenarios urbanos, desencadenan una serie de trastornos en la vida cotidiana extremadamente difíciles de predecir. Esta realidad es mucho más severa en países en vías de desarrollo, con estructuras financieras aún lejos de responder a desastres siconaturales de gran envergadura.

Entre los ejemplos más recientes en América Latina y el Caribe sería oportuno citar el terremoto del 12 de enero de 2010, de 7.0 grados en la escala de Richter, que devastó principalmente la ciudad de Puerto Príncipe y el suroeste de Haití. Durán (2010), Cavaletto (2012) y otras fuentes de la Organización de las Naciones Unidas ofrecen cifras de al menos 200 000 personas fallecidas y pérdidas en el orden de 14 000 millones de dólares americanos. Lamentablemente, en este y otros casos, las pérdidas humanas y materiales no pueden ser asociadas exclusivamente al movimiento sísmico. Durán (2010) afirma que la condición de desastre del evento experimentado en Haití está relacionada con las condiciones socioeconómicas extremas, las aglomeraciones urbanas, los estilos precarios de

not ignore the existence of other elements exposed, which can be perfectly considered for future research, including presence of public buildings (hospitals and schools), and even other public structures such as bridges.

According to the current conditions of structural vulnerability and the estimated seismic hazard levels, 5,680 homes are expected to be damaged to some extent should an earthquake similar to the one in 23 January 1880 occur. Likewise, and depending on the distribution of inhabitants in the urban space, 67 people are expected to become homeless, 59 may be hurt, and one person may die.

Finally, the results obtained are considered to be consistent with the urban scenario studied and given the seismic hazard level in the Caribbean region, with the products obtained being a significant contribution for the local management of seismic risk. Also, we consider that the methodology used serves as a model for other locations in the Caribbean area lacking basic estimates of potential damage for earthquake scenarios.

Key words: Seism, hazard, structural vulnerability, socio-economic losses.

construcción y la degradación ambiental, entre otros aspectos de índole político y de relaciones internacionales.

De igual forma, episodios de desastres como los ocurridos durante el terremoto de Ecuador el 16 de abril de 2016, de 7.8 grados, y en México el 19 de septiembre de 2017, de 7.1 grados, indican líneas de trabajos inaplazables en diversos ámbitos de la gestión del riesgo. En el caso de Ecuador se cuantificaron 661 personas fallecidas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016), mientras que en México unas 291 personas perdieron la vida de forma directa por el evento (OPS y OMS, 2017).

Los desastres descritos y muchos otros revelan la necesidad de reforzar los estudios encaminados a la búsqueda de la coherencia entre la zonificación del peligro y los planes de ordenamiento del territorio, así como ampliar las investigaciones dirigidas a alcanzar estimaciones más exactas de las pérdidas esperadas. El reforzamiento de estos elementos favorecería la justificación y la gestión de recursos económicos para la respuesta inmediata a la población afectada.

En este sentido, el artículo tiene como objetivo estimar las posibles afectaciones a la población y a las viviendas de la ciudad de San Cristóbal, ubicada en el occidente de Cuba (Figura 1). Se pretende que el trabajo sirva de modelo, a nivel

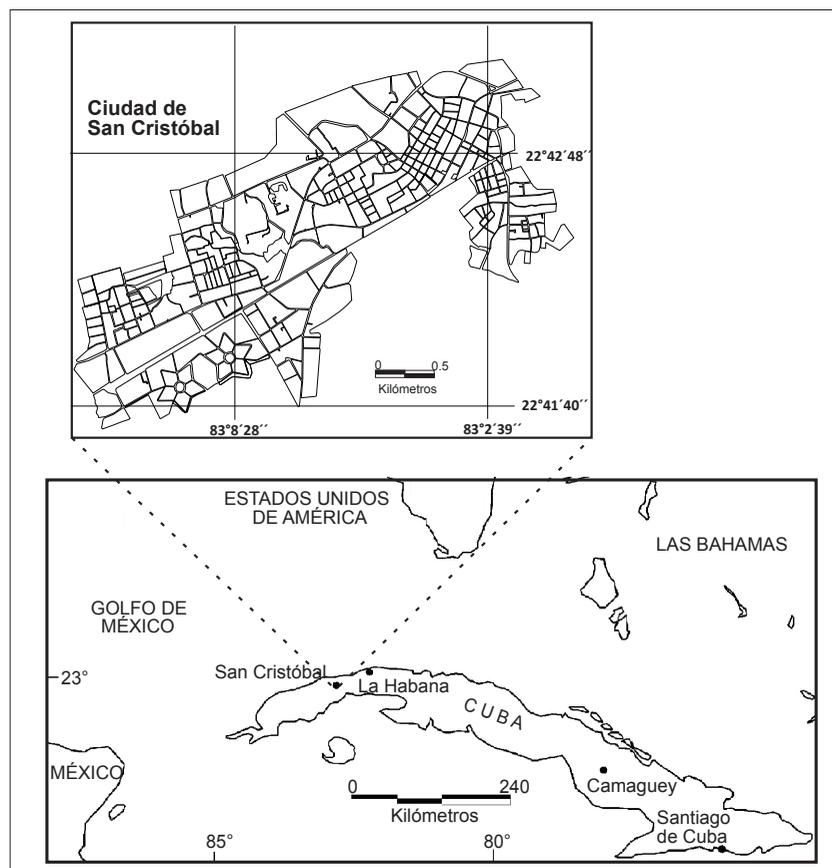


Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de San Cristóbal, Cuba occidental.

internacional, para otras ciudades ubicadas en zonas que potencialmente pueden ser afectadas por sismos de moderada magnitud y que aún carecen de aproximaciones en sus estimaciones de daños socioeconómicos.

El territorio de San Cristóbal experimentó un sismo de magnitud estimada en 6.0 grados Richter ($I = 8$ MSK) el 23 de enero de 1880, el cual destruyó gran parte de las construcciones de aquel entonces. La condición tectónica del área objeto de estudio y, en algunos casos, su peligro sísmico, han sido aspectos tratados en numerosas publicaciones (Cotilla y Álvarez, 2001; Cofiño y Cáceres, 2003; Cruz *et al.*, 2007; Cotilla y Córdoba, 2010; 2011), mientras que la óptica de las condiciones geotécnicas locales del emplazamiento de la ciudad ha sido abordada por Ordaz *et al.* (2012; 2013). De lo anterior se interpreta que el área ha estado en la órbita de varias investigaciones durante el

siglo XXI y cuenta con antecedentes suficientes para evolucionar hacia aspectos directamente vinculados a la gestión local del riesgo, especialmente a la estimación del impacto socioeconómico en un posible escenario sísmico similar al experimentado en 1880.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esclarecida la problemática y el objetivo principal, se procede al diseño de una metodología que permita expresar, de forma sencilla y cuantitativa, los potenciales daños socioeconómicos para la ciudad de San Cristóbal frente a un sismo de moderada magnitud, empleando la “manzana urbana” como unidad básica de información. En este sentido, se toman como sustento teórico las definiciones unificadas en la reunión Natural Disasters and

Vulnerability Analysis (UNDRO, 1979), donde se propone que el riesgo total (R_t) está función de los elementos en riesgo (E), del peligro (H) y la vulnerabilidad (V) (Ecuación 1).

$$R_t = ExHxV \quad (1)$$

La ecuación propuesta por la UNDRO (1979) marca las directrices generales y los elementos mínimos a tener en cuenta para estimar las potenciales pérdidas humanas y los efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre. Autores como Cardona (2001), Iglesias, Irigary y Chacón (2006), y Espinosa y Hernández (2015) reconocen la vigencia de las bases metodológicas de la UNDRO y las han robustecido con enfoques más actuales e integrales, especialmente en aspectos de resiliencia, capacidad científica y tecnológica de las comunidades, y tiempo de exposición, entre otros elementos.

De esta forma, se proponen cuatro fases metodológicas adaptadas al escenario geográfico objeto de investigación y al nivel de información disponible.

Primera fase metodológica

Se establecen los elementos en riesgos (E); en este caso se contempla la población y la infraestructura residencial. La fuente principal de información se deriva del levantamiento de campo, donde se verifica:

- Cantidad de viviendas, área que ocupan, estado técnico y tipo de estructura
- Distribución de la población
- Ubicación de servicios públicos de gran interés

La información obtenida en campo se pudo comparar con fuentes estatales a modo de validación, especialmente con bases de datos de la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF) de Pinar del Río.

Segunda fase metodológica

En la segunda fase se procede a definir la peligrosidad sísmica (H) del entorno urbano objeto de investigación. Para el caso San Cristóbal, el Cenais (2013) propone niveles de intensidad macrosísmica y aceleraciones del terreno para dos periodos de retorno ($T = 100$ años y $T = 475$ años), esto en función del material geológico (S_1, S_2, S_3, S_4) (Tabla 1).

Por otro lado, la cartografía geotécnica que refleja la distribución espacial de los diferentes materiales geológicos se tomó de Ordaz *et al.* (2012) (Figura 2).

Tercera fase metodológica

Esta fase se enfoca en el análisis de la vulnerabilidad (V). El concepto de vulnerabilidad es ampliamente discutido por Cardona (2001), quien reconoce su complejidad, especialmente cuando

Tabla 1. Niveles de intensidad macrosísmica y aceleraciones del terreno para la ciudad de San Cristóbal.

Material geológico según la Norma Cubana NC 46: 1999	Periodo de retorno $T = 100$ años		Periodo de retorno $T = 475$ años	
	Aceleración del terreno (cm/s^2)	Intensidad macrosísmica (MSK)	Aceleración del terreno (cm/s^2)	Intensidad macrosísmica (MSK)
S_1^*	61.99	VI	104.86	VII
S_2^{**}	74.39	VI	125.84	VII
S_3^{***}	86.79	VII	146.81	VIII
S_4^{****}	117.79	VII	199.25	VIII

* S_1 : rocas poco fracturadas

** S_2 : depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras, rocas fracturadas o con oquedades *** S_3 : depósitos de arcillas blandas o medias y arenas con espesores de 10 m

**** S_4 : depósitos de arcilla blanda con espesores mayores a 12 m

Fuente: elaboración propia con datos del Cenais (2013).

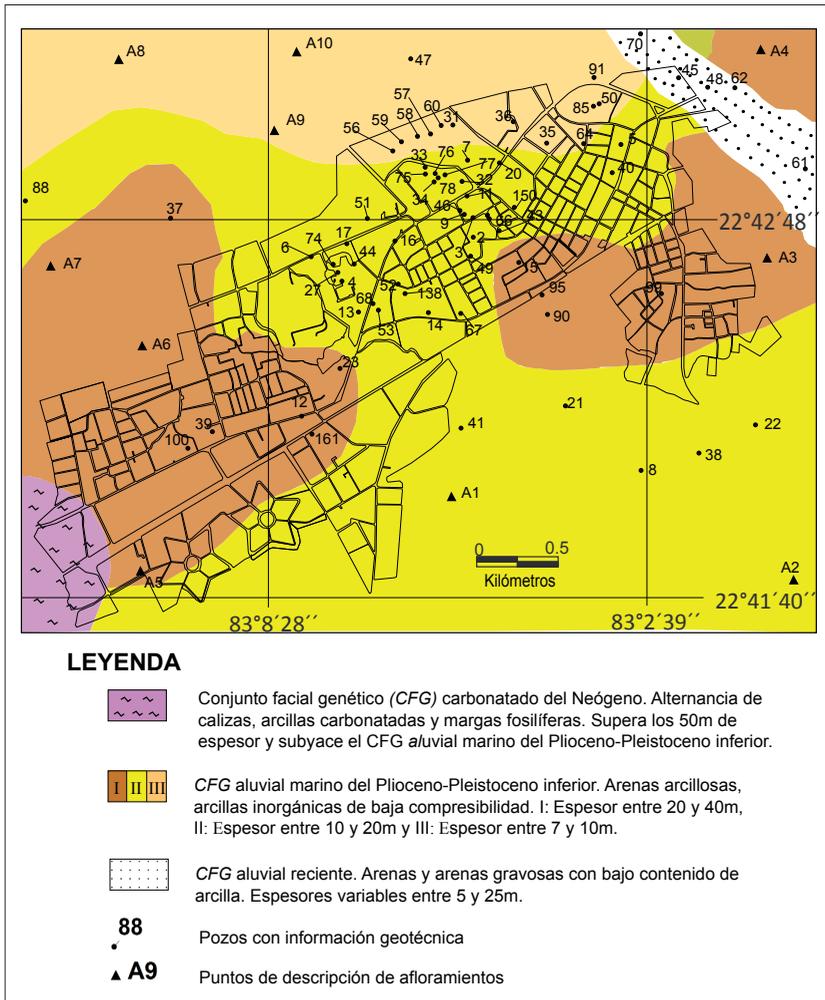


Figura 2. Mapa geológico-geotécnico de la ciudad de San Cristóbal. Fuente: Ordaz *et al.* (2012).

es abordado desde diferentes áreas del conocimiento, por ejemplo, desde las ciencias sociales, la medicina o las ingenierías. Según Cardona, hay consenso en conceptualizar la vulnerabilidad como la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso de un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico.

De la definición anterior se puede comprender entonces la amplia diversidad de vulnerabilidades que pueden coexistir en un escenario urbano, por ejemplo, vulnerabilidad estructural, vulnerabilidad no estructural, vulnerabilidad funcional, vulnerabilidad social y vulnerabilidad económica.

Para evaluar cada una de éstas se han desarrollado indicadores de mayor o menor rigor.

Dada la complejidad de este tipo de trabajos y su alcance, éste pretende contribuir al análisis de dos vulnerabilidades fundamentales: la estructural y la social .

Vulnerabilidad estructural

Esta investigación empleará como fuente de información la cartografía obtenida por Ordaz, Hernández-Santana y Saeed (2015), quienes se enfocaron exclusivamente en el análisis del fondo habitacional. El mapa de vulnerabilidad estructural contiene una amplia base de datos con atributos esenciales, como tipo de estructura,

estado técnico, cantidad de habitantes por tipo de estructura, área que ocupa cada estructura y número de niveles, entre otros (Figura 3). Esta investigación se centra únicamente en evaluar la vulnerabilidad estructural del fondo habitacional, pero no se ignora la existencia de otros indicadores clave que perfectamente pueden ser considerados para futuros trabajos, como la presencia de edificios públicos (hospitales y escuelas), e incluso otras estructuras, como puentes.

Las manzanas con alta vulnerabilidad del fondo habitacional se vinculan fundamentalmente a estructuras de mampostería no reforzada (E2) con daños estructurales. Fuente: Ordaz, Hernández-Santana y Saeed (2015).

Ordaz, Hernández-Santana y Saeed (2015) consideran, para el caso de la ciudad de San Cristóbal, tres indicadores: edad de las construcciones, estado técnico y tipo de estructura. Los principales

aspectos teóricos para el análisis de la vulnerabilidad estructural fueron tomados de la Escala Macrosísmica Europea 1998 (Grünthal, 2003), con algunas adaptaciones para las condiciones cubanas realizadas por el Cenais (2009). De esta forma, dicho centro de investigaciones diseñó matrices de probabilidad de daños, las cuales se utilizarán en este trabajo. En la Tabla 2 se muestran las matrices empleadas, esto en correspondencia con los niveles de peligros obtenidos (Figura 5), mientras que en la Tabla 3 se esclarecen las categorías de daños consideradas en esta investigación.

Vulnerabilidad social

En el caso de la vulnerabilidad social se consideró la densidad poblacional, para lo cual se tabuló en cada manzana la cantidad de personas por tipo de estructura (Figura 4). De esta información se obtiene la densidad poblacional, que además

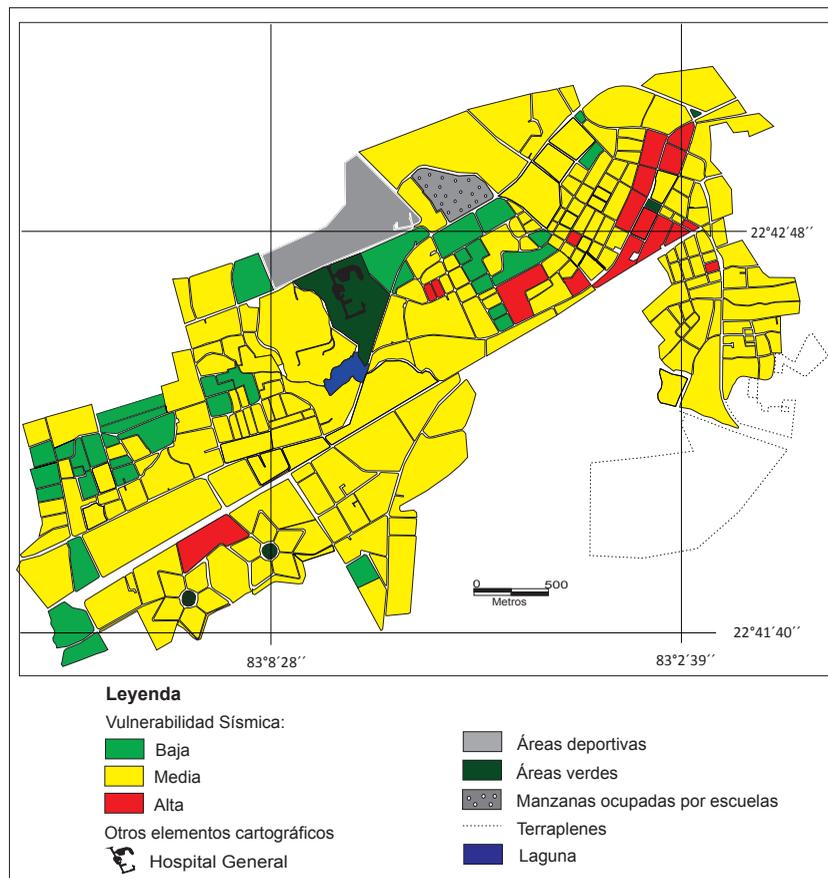


Figura 3. Mapa de vulnerabilidad estructural del fondo habitacional para la ciudad de San Cristóbal.

Tabla 2. Matrices de probabilidad de daños empleadas en la estimación de pérdidas socioeconómicas en la ciudad de San Cristóbal.

Tipo de daño*	VI					
	A	B	C	D	E	F**
0	50	50	90	100	100	100
1	40	40	10	0	0	0
2	10	10	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

Tipo de daño	VII					
	A	B	C	D	E	F
0	0	50	90	10	100	100
1	0	40	10	0	0	0
2	50	10	0	0	0	0
3	40	0	0	0	0	0
4	10	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

Tipo de daño	VIII					
	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	100	100
1	0	0	50	90	0	0
2	0	50	40	10	0	0
3	50	40	10	0	0	0
4	40	10	0	0	0	0
5	10	0	0	0	0	0

* Clasificación de daños: 0, sin daño; 1, daños ligeros; 2, daños moderados; 3, daños considerables; 4, daños graves, y 5, destrucción total.

** A, B, C, D, E y F corresponden a las tipologías de la Escala Macrosísmica Europea (EMS), donde A es el nivel más vulnerable con muy bajo nivel de diseño sismorresistente, y F, el nivel más alto de resistencia sísmica.

Fuente: elaboración propia con datos del Cenais (2009).

permitió estimar las potenciales pérdidas de vidas humanas en función de la vulnerabilidad estructural de sus viviendas; en este caso, queda la sugerencia, para futuros trabajos, de ahondar en el nivel de percepción del riesgo sísmico y en la capacidad económica de los ciudadanos de resarcir los posibles daños, elementos que indudablemente arrojarían un escenario social más exacto.

Donde:

- UBIT: Unidad Básica de Información Territorial
- E1: estructuras de adobe
- E2: mampostería no reforzada
- E3: mampostería no reforzada con pisos concreto reforzado
- E4: pórticos de hormigón armado sin diseño sismorresistente
- E5: muros de hormigón armado sin diseño sismorresistente

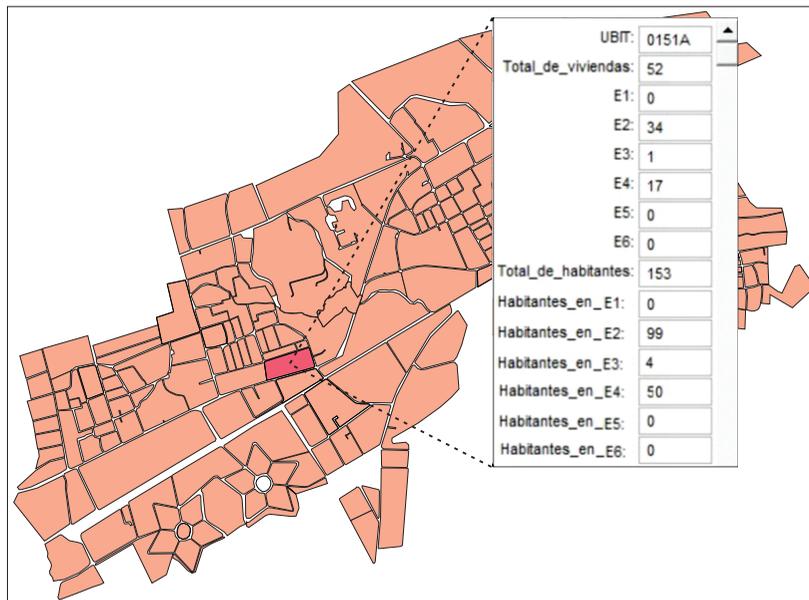


Figura 4. Ejemplo de diseño de las bases de datos, en el que se conoce con exactitud la cantidad de habitante por cada tipo de estructura.

Tabla 3. Descripción de los posibles tipos de daños al fondo habitacional .

Tipo de daño	Descripción	Ejemplo
Daño ligero	Sin daño estructural y daño no estructural leve	Grietas muy delgadas en muy pocos muros
Daño moderado	Daño estructural leve y daño no estructural moderado	Grietas en columnas y vigas o en muros estructurales
Daño considerable	Daño estructural moderado y daño no estructural severo	Torcedura de varillas de refuerzo Grandes grietas en paredes
Daño grave	Daño estructural severo y daño no estructural muy severo	Grandes rajaduras en elementos estructurales con falla a compresión de concreto y fractura de barras de refuerzo
Daño total	Daño estructural muy severo	Colapso o casi colapso total

- E6: estructuras de madera

Cuarta fase metodológica

Se concluyen los aspectos metodológicos con la incorporación de la estimación de pérdidas socioeconómicas. Contar con datos prospectivos vinculados a las posibles afectaciones a la integridad física de las personas constituye un aspecto medular en la toma de decisiones por parte de la Defensa Civil. En este trabajo se asume la hipótesis sugerida por García y Álvarez (2010), en la que fundamentan que:

El colapso total o parcial de las edificaciones es considerado la causa principal de las muertes y lesiones de la población durante un terremoto, pudiendo calcularse el número de las víctimas por el número de edificios con daños de consideración.

Atendiendo a lo anterior, se propone utilizar el método empleado por el Cenais (2009) para el cálculo de muertos, heridos y personas sin hogar, el cual se fundamenta en las siguientes fórmulas simplificadas:

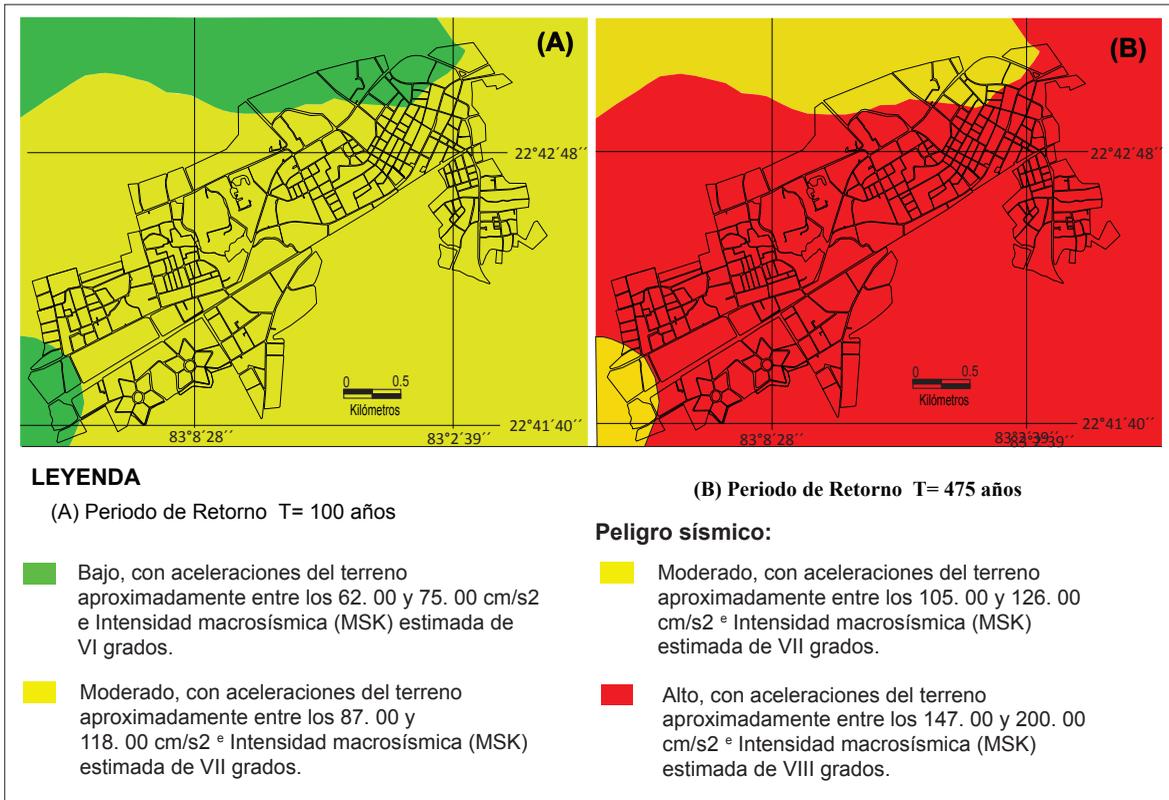


Figura 5. Mapa de peligrosidad sísmica para la ciudad de San Cristóbal para los periodos de retorno T=100 y 475 años.

$$M = (0.001 DC + 0.01 DG + 0.2 DT) d$$

$$H = (0.1 DC + 0.2 DG + DT) d - M$$

$$NS = (DG + DT) d$$

Donde:

M: número de pérdidas fatales

H: número de heridos

NS: número de personas sin hogar

d: densidad poblacional

DC: daños considerables

DG: daños graves

DT: daños totales

Finalmente, la investigación incursiona en la estimación del valor de los elementos expuestos. Para el caso cubano y para el resto del mundo es la línea investigativa menos abordada en la evaluación del riesgo sísmico. Sin embargo, son muy abundantes los trabajos que hacen un análisis exhaustivo del riesgo, incluso cuantifican pérdidas humanas y

daños en los edificios, pero no profundizan en las pérdidas económicas (Lantada, 2007; Irizarry *et al.*, 2007; Goded, 2010; entre otros). Mientras que los trabajos que tratan las pérdidas económicas, específicamente lo hacen empleando las bases de datos de las empresas aseguradoras (Olarte *et al.*, 2003; Alcaldía Mayor de Bogotá y Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos, 2005).

Como se mencionó, este trabajo se enfoca al sector residencial; para el caso cubano, se cuenta con un valor referencial para la vivienda de manera oficial (Gaceta Oficial, 2017). Esta información, complementada con datos catastrales que incluyen especialmente el área en metros cuadrados y las características de los inmuebles, como su estado técnico, tipo de paredes y de cubiertas, permiten tener un estimado de su valor.

La *Gaceta Oficial de Cuba*, en la edición de abril de 2017, en el Anexo 5, hace alusión a las bases de cálculo del valor de referencia para viviendas en

pesos cubanos. Las casas de paredes de mampostería y cubierta pesada tendrían un valor promedio de 31 875.00 pesos cubanos para viviendas de un dormitorio, y promedios de 58 875.00, 85 875.00 y 112 850. 00 para viviendas de dos, tres y cuatro dormitorios, respectivamente. Estos valores pueden modificarse ligeramente en función de la presencia de garajes, patios o jardines y la ubicación del inmueble. Asimismo, la fuente citada y empleada en este trabajo ofrece el valor de referencia para casas de paredes de mampostería y cubierta ligera, casas con paredes y cubierta de cualquier material y apartamentos de paredes de mampostería y cubierta pesada.

RESULTADOS

Peligrosidad sísmica para la ciudad de San Cristóbal

Utilizando como sustento la información geotécnica publicada por Ordaz *et al.* (2012) y siguiendo los criterios de peligrosidad sísmica sugeridos por el Cenais (2013), se logró elaborar el mapa de peligro sísmico para la ciudad de San Cristóbal. La cartografía obtenida refleja el peligro sísmico para los periodos de retorno de 100 y 475 años (Figura 5). Estos dos escenarios constituyen parte importante para el análisis ulterior de las potenciales pérdidas en esta ciudad. Los niveles de peligrosidad revelados guardan correspondencia con el suceso sísmico de 1880, en el que, según los daños, se estimó una intensidad de VIII grados (MSK). En esa época la infraestructura y los daños reportados se ubicaban en la zona este del mapa (Figura 5), que según el

análisis aportado en este trabajo corresponde a una zona de peligro sísmico alto.

Potenciales daños al fondo habitacional

Mediante la aplicación de la metodología descrita se establece con claridad la relación entre la cantidad de viviendas, el tipo de evento y el nivel de daños esperados para la ciudad en términos generales (Tabla 4). Además, y de forma específica, se pudo dilucidar, en cada manzana, la cantidad de viviendas por categoría de daños. Lo anterior se logra mediante tres acciones: 1) operaciones de análisis espacial sobre el mapa de peligrosidad sísmica (Figura 5) y el mapa de vulnerabilidad estructural (Figura 3); 2) consultas a las bases de datos ya descritas del mapa de vulnerabilidad estructural, y 3) aplicación de las matrices de probabilidad de daños (Tabla 2).

Los resultados plasmados en la Tabla 4, y en referencia a la situación más adversa, indican una estimación de 227 viviendas que sufrirían daños graves frente a un sismo de intensidad VIII MSK, provenientes de aceleraciones entre 147.0 y 200.0 cm/s² (Figura 5). Los daños graves pueden consistir en grandes rajaduras en elementos estructurales con falla a compresión de concreto y fractura de barras de refuerzo, además de ruptura de uniones de vigas reforzadas y pandeo de columnas hasta llegar al colapso de algunas.

Según la peligrosidad sísmica de la ciudad de San Cristóbal, el evento extremo que ya ocurrió hace 138 años sería de intensidad VIII MSK ($T = 475$ años); en ese escenario y con el apoyo de la metodología descrita, se define para cada manzana la cantidad de viviendas por categoría de daños.

Tabla 4. Distribución de la cantidad de viviendas según el tipo de daño que sufrirá para tres eventos probables, aplicando la escala macrosísmica MSK.

Intensidad macrosísmica MSK-64	Sin daño	Daño ligero	Daño moderado	Daño considerable	Daño grave	Daño total
VI	4 335	1 212	286	3	1	0
VII	4 331	1 212	262	31	1	0
VIII	157	1 928	2 336	1 189	227	0

Fuente: Karnik *et al.*, 1984.

La concentración de datos bien estructurados en formato de Sistema de Información Geográfica (SIG) permite generar cartografía específica desde diferentes perspectivas, de acuerdo con los intereses de los gestores locales. Por ejemplo, en la Figura 6 se muestra la ubicación, dentro del escenario urbano, de las viviendas que potencialmente pueden sufrir daños considerables y daños graves para el evento extremo ya descrito.

La información mostrada en la Figura 6 constituye una ruta de trabajo sólidamente argumentada para los tomadores de decisiones en el diseño de planes de reducción de vulnerabilidades. Si bien en la Tabla 4 se ofrecen datos generales para la ciudad de San Cristóbal, en la Figura 6 se muestra el comportamiento espacial de daños al fondo habitacional para las categorías “daños considerables” y “daños graves”. En este caso de estudio no

se revelaron viviendas que potencialmente puedan sufrir daños totales. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de viviendas de alta vulnerabilidad estructural que potencialmente pueden sufrir daños graves, construidas en el siglo XIX.

Posteriormente se calculó el monto de pérdidas económicas en cada manzana, en función de los inmuebles que potencialmente serán demolidos por el alto nivel de daños sufridos (daños graves). Para el resto de las categorías de daños (daño ligero, daño moderado y daño considerable), que implican posteriores tareas de remediación estructural, resulta difícil aplicar una base de cálculo, pues esto dependería de análisis extremadamente puntuales; se necesitarían detalles específicos de cada afectación, así como precios de los materiales y servicios de las empresas constructoras. De esta forma, para el evento sísmico extremo descrito anteriormente se

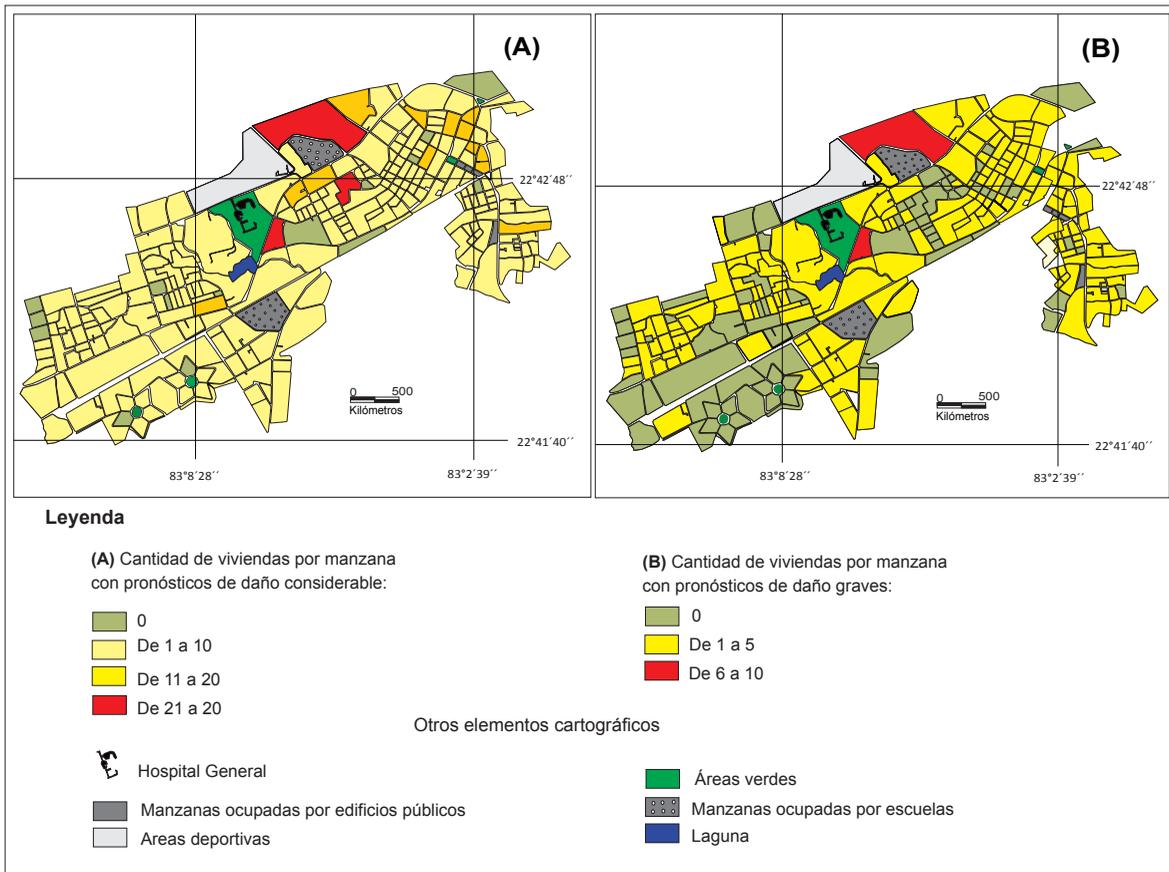


Figura 6. Niveles de daños a las viviendas frente a un sismo de intensidad VIII MSK para un periodo de retorno de 475 años.



Figura 7. Viviendas construidas en el siglo XIX, de alta vulnerabilidad estructural, muy comunes en el centro de la ciudad de San Cristóbal.

estiman pérdidas en el orden de aproximadamente 13 500 000 pesos cubanos.

Afectaciones a la integridad física de las personas

En función de la información catastral, especialmente la distribución de habitantes por tipo de estructuras en cada manzana y aplicando la ecuación del Cenais (2009) ya expuesta, se estima el número de personas que potencialmente pueden fallecer, resultar lesionadas o quedarse sin hogar (Tabla 5).

Los mayores daños a los habitantes de la ciudad de San Cristóbal, en el occidente de Cuba, se concentran en las manzanas que presentan niveles de daños a la infraestructura de categorías “considerables” o “graves”.

De esta forma, con esta investigación se logra ofrecer a las autoridades locales una herramienta

Tabla 5. Estimaciones de habitantes que potencialmente pueden ser afectados

Intensidad macrosísmica MSK-64	Muertos	Heridos	Sin hogar
VI	0	0	0
VII	0	1	3
VIII	1	59	67

de trabajo para la gestión local del riesgo, definiéndose espacialmente la ubicación de los principales elementos expuestos y las posibles afectaciones a la integridad física de los habitantes. Además, con base en los cálculos obtenidos se tiene un valor aproximado de la infraestructura que potencialmente puede destruirse, lo cual permite gestionar los recursos financieros en los presupuestos anuales para estos fines. Asimismo, la metodología empleada sirve de modelo para otros sitios en el entorno geográfico del Caribe que carezcan de evaluaciones básicas de estimaciones de daños frente a terremotos.

CONCLUSIONES

Se obtiene el mapa de peligrosidad sísmica para la ciudad de San Cristóbal, en Cuba occidental, para los periodos de retorno: $T = 100$ y 475 años. La cartografía indica intensidades macrosísmicas de hasta VIII grados en la escala MSK para la mayor parte del emplazamiento, para un $T = 475$ años. El resultado alcanzado guarda significativa correspondencia con los daños del sismo ocurrido el 23 de enero de 1880, que se considera un evento extremo.

De acuerdo con la información catastral disponible, se logró estimar el volumen de afectaciones en el sector residencial. De tal forma, para las condiciones de peligrosidad sísmica ya demostradas y el nivel de vulnerabilidad estructural actual del fondo habitacional, resulta oportuno resaltar los posibles daños para un sismo de VIII grados MSK. En este sentido, se estima que 5 680 viviendas sufrirán algún tipo de daño estructural, donde 1 928 viviendas sufrirán daños ligeros; 2 336, daños moderados; 1 189, daños considerables, y 227 serán afectadas por daños graves. En este rubro, y mediante operaciones de análisis espacial, se obtiene la distribución de las viviendas dentro de la ciudad que potencialmente pueden sufrir daños considerables y graves.

De acuerdo a las bases de cálculos oficiales para la República de Cuba, se estiman pérdidas en el sector residencial de aproximadamente 13 500 000 pesos cubanos. El monto citado sólo incluye el valor de las 227 residencias que potencialmente

sufrirán daños graves, sin embargo, resta por definir una base de cálculo apropiada para las 5 453 que pueden sufrir daños ligeros, moderados y considerables; tal carencia constituye una línea de trabajo de futuras investigaciones.

En función de la distribución de los habitantes en el espacio urbano, se estima que para el evento extremo (VIII grados MSK), 67 personas queden sin hogar, 59 resulten heridas y una fallezca.

Finalmente, se considera que los resultados alcanzados guardan correspondencia y lógica con el escenario urbano objeto de análisis y para el nivel de peligro sísmico de la región caribeña, así, los productos obtenidos resultan un aporte significativo en la gestión local del riesgo sísmico.

REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá y Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos (2005). Proyecto Escenarios de Riesgo y Pérdidas por terremoto para Bogotá, D. C. Informe final.
- Cardona, O. D. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo, una crítica y una revisión necesaria para la gestión. International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice, Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre. Conferencia llevada a cabo en Wageningen.
- Cavaletto, G. A. (2012). *El terremoto de Haití 2010: una evaluación de la respuesta humanitaria*. Tesis de Maestría. Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile, Chile.
- Cenais (Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas) (2009). *Determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en escenarios físicos. Guía metodológica*. Santiago de Cuba: Cenais.
- Cenais (Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas) (2013). *Mapa de peligro sísmico para Artemisa. Cartografía en Sistemas de Información Geográfica*. Cenais: Santiago de Cuba.
- Cofiño, C. E. y Cáceres, D. (2003). Efectividad de la utilización de métodos microtectónicos en el desciframiento de la evolución de estructuras tectónicas (Falla Pinar). *Revista minería y geología*, 3-4(19), 29-34.
- Consejo de Estado y Ministerio de Justicia (2017). *Gaceta Oficial No. 16 Extraordinaria de 11 de abril de 2017*. Cuba: Consejo de Estado y Ministerio de Justicia.
- Cotilla, M. O. y Álvarez, J. L. (2001). Regularidades sismogénicas de la Unidad Neotectónica Occidental de Cuba. *Revista geológica de Chile*, 1(28), 3-24.
- Cotilla, M. O. y Córdoba, D. (2010). Study of the Cuban Fractures. *Geotectonics*, 2(44), 176-202.
- Cotilla, M. O. y Córdoba, D. (2011). Study of the Earthquake of the January 23, 1880, in San Cristóbal, Cuba and the Guane Fault. *Física de la Tierra*, 6, 35-56.
- Cruz, R., Sánchez, J., Otero, R., Gómez, J. E., Sosa, C., Fariñas, C., Pérez, Y., Mejías, L. y Rodríguez, O., (2007). Efectividad de la geomorfología aplicada en la precisión de fallas generadoras del relieve en la provincia Pinar del Río, Cuba. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Simposio llevado a cabo en Florianópolis.
- Durán, L. R. (2010). Terremoto en Haití: las causas persistentes de un desastre que no ha terminado. *Nueva sociedad*, (226), 13-19.
- Espinosa, L. y Hernández, J. (2015). Estudio del riesgo. Análisis multifactorial, multinivel y multitemporal. *Revista latinoamericana el ambiente y las ciencias*, 14(6), 1-27.
- García, J. A. y Álvarez, L. (2010). *Base de cálculo para la estimación de las pérdidas potenciales humanas y en las construcciones debido a un terremoto de gran intensidad*. Fondos Cenais.
- Goded, T. (2010). *Evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Málaga*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Grünthal, G. (2003). Escala Macrosísmica Europea 1998. Comisión Sismológica Europea, Subcomisión de Ingeniería Sísmica. Grupo de trabajo sobre Escalas Macrosísmicas. Grupo de trabajo llevado a cabo en Luxemburgo.
- Iglesias, S., Irigary, C. y Chacón, J. (2006). Análisis del riesgo sísmico en zonas urbanas mediante sistemas de información geográfica. Aplicación a la ciudad de Granada. *Cuadernos Geográficos*, 2(39), 147-166.
- Irizarry, J., Roussillon, P., González, M., Colas, B., Sedan, O. y Susagna, T. (2007). Escenarios transfronterizos de riesgo sísmico en el Pirineo Oriental. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Congreso llevado a cabo en la Asociación Española de Ingeniería Sísmica, Girona.
- Karnik, V., Schenkova, Z. y Schenk, V. (1984). Vulnerability and MSK Scale. *Engineering Geology*, 1-2(20), 161-168.
- Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. aplicación a la ciudad de Barcelona*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Olarte, J., Zavala, C., Aguilar, Z., Vásquez, G., Escobar, R. y Romaní, S. (2003). Estimación de la pérdida máxima probable PML en 10 distritos de la Gran Lima y Callao: Aplicación a la industria aseguradora

- peruana. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil-Iquitos.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) y OMS (Organización Mundial de la Salud) (2017). Informe de situación: Sismo en México, 22 de septiembre de 2017. Washington, D. C.
- Ordaz, A., Chuy, T. J., Hernández, J. R. y García, J. A. (2012). División geológico-geotécnica aplicada a la zonación sísmica urbana: San Cristóbal, Cuba occidental. *Revista cuaternario y geomorfología*, 1-2(26), 89-104.
- Ordaz, A., Chuy, T. J., Hernández, J. R. y García, J. A. (2013). La susceptibilidad a la licuefacción en el emplazamiento de la ciudad de San Cristóbal, Cuba occidental. *Revista minería y geología*, 2(29), 1-15.
- Ordaz, A., Hernández-Santana, J. R. y Saeed, A. (2015). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica para la ciudad de San Cristóbal. *Avances*, 2(147), 155-164.
- Secretaría de Gestión de Riesgos (2016). Informe de situación N° 65-16/05/2016 Terremoto 7.8°-Pedernales. Quito: Secretaría de Gestión de Riesgos de Ecuador.
- UNDRO (1979). Natural Disasters and Vulnerability Analysis. *Report of Experts Group Meeting*. Geneva.