

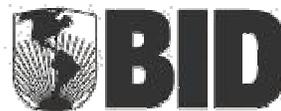
# **CAPRA**

**CENTRAL AMERICA PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT**  
**EVALUACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS EN CENTRO AMÉRICA**

## **GUATEMALA**

**TAREA IV**  
**MAPAS DE AMENAZAS Y DE RIESGOS, APLICACIONES**  
**EN LA GESTIÓN DEL RIESGO**

**INFORME TÉCNICO SUBTAREA 4.2A**  
**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE EN**  
**CIUDAD DE GUATEMALA**





**Evaluación de Riesgos Naturales**  
**- América Latina -**  
Consultores en Riesgos y Desastres

**Consortio conformado por:**

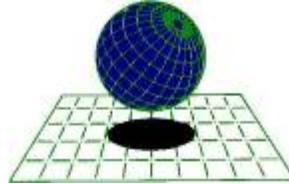
**Colombia**

Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



**España**

Centro Internacional de Métodos Numéricos  
en Ingeniería - CIMNE  
Campus Nord UPC  
Tel. 34-93-401-64-96  
Fax 34-93-401-10-48  
Barcelona



**C I M N E**

**México**

Vito Alessio Robles No. 179  
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac  
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón  
Tel. 55-5-616-8161  
Fax 55-5-616-8162  
México, D.F.



[ERN Ingenieros Consultores, S. C.](#)

**ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina**  
[www.ern-la.com](http://www.ern-la.com)

**Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina**

---

**Omar Darío Cardona A.**  
Dirección General del Proyecto

**Luis Eduardo Yamín L.**  
Dirección Técnica ERN (COL)

**Gabriel Andrés Bernal G.**  
Coordinación General ERN (COL)

**Mario Gustavo Ordaz S.**  
Dirección Técnica ERN (MEX)

**Eduardo Reinoso A.**  
Coordinación General ERN (MEX)

**Alex Horia Barbat B.**  
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

**Martha Liliana Carreño T.**  
Coordinación General CIMNE (ESP)

**Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo**

---

**Julián Tristancho**  
Especialista ERN (COL)

**Miguel Genaro Mora C.**  
Especialista ERN (COL)

**César Augusto Velásquez V.**  
Especialista ERN (COL)

**Karina Santamaría D.**  
Especialista ERN (COL)

**Mauricio Cardona O.**  
Especialista ERN (COL)

**Sergio Enrique Forero A.**  
Especialista ERN (COL)

**Mario Andrés Salgado G.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Juan Pablo Forero A.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Andrés Mauricio Torres C.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Diana Marcela González C.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Carlos Eduardo Avelar F.**  
Especialista ERN (MEX)

**Benjamín Huerta G.**  
Especialista ERN (MEX)

**Mauro Pompeyo Niño L.**  
Especialista ERN (MEX)

**Isaías Martínez A.**  
Asistente Técnico ERN (MEX)

**Edgar Osuna H.**  
Asistente Técnico ERN (MEX)

**José Juan Hernández G.**  
Asistente Técnico ERN (MEX)

**Marco Torres**  
Asesor Asociado (MEX)

**Johner Venicio Correa C.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Juan Miguel Galindo P.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Yinsury Sodel Peña V.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Mabel Cristina Marulanda F.**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Jairo Andrés Valcárcel T.**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Juan Pablo Londoño L.**  
Especialista CIMNE(ESP)

**René Salgueiro**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Nieves Lantada**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Álvaro Martín Moreno R.**  
Asesor Asociado (COL)

**Mario Díaz-Granados O.**  
Asesor Asociado (COL)

**Liliana Narvaez M.**  
Asesor Asociado (COL)

**Juan Camilo Olaya**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Steven White**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Asesores Nacionales**

---

**SNET Francisco Ernesto Durán**  
& **Giovanni Molina** El Salvador

**Osmar E. Velasco**  
Guatemala

**Oscar Elvir** Honduras  
**Romaldo Isaac Lewis** Belice

**Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales**

---

**Flavio Bazán**  
Especialista Sectorial

**Tsuneki Hori**  
Consultor Interno

**Cassandra T. Rogers**  
Especialista Sectorial

**Oscar Anil Ishizawa**  
Consultor Interno

**Sergio Lacambra**  
Especialista Sectorial

**Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe**

---

**Francis Ghesquiere**  
Coordinador Regional

**Edward C. Anderson**  
Especialista

**Joaquín Toro**  
Especialista

**Stuart Gill**  
Especialista

**Fernando Ramírez C.**  
Especialista

## **LIMITACIONES Y RESTRICCIONES**

Esta aplicación es de carácter ilustrativo y presenta limitaciones y restricciones debido al nivel de resolución de la información disponible, de lo cual debe ser consciente el usuario final para efectos de poder dar un uso adecuado y consistente a los resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de análisis realizado, el tipo y calidad de datos empleados, el nivel de resolución y precisión utilizado y la interpretación realizada. En consecuencia es importante señalar lo siguiente:

- Los modelos utilizados en los análisis tienen simplificaciones y supuestos para facilitar el cálculo que el usuario debe conocer debidamente. Éstas están descritas en detalle en los informes técnicos respectivos.
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado de actualización. Es posible que exista información mejor y más completa a la cual no se tuvo acceso.
- La información utilizada y los resultados de los análisis de amenaza, exposición y riesgo tienen asociado un nivel de resolución según las unidades de análisis utilizadas, lo que se explica en el documento descriptivo del ejemplo.
- El uso que el usuario final le dé a la información no compromete a los autores de los estudios realizados, quienes presentan este ejemplo como lo que puede ser factible de hacer si se cuenta con información confiable con la precisión adecuada.
- Es responsabilidad del usuario comprender el tipo de modelo utilizado y sus limitaciones, la resolución y calidad de los datos, las limitaciones y suposiciones de los análisis y la interpretación realizada con el fin de darle a estos resultados un uso adecuado y consistente.
- Ni los desarrolladores del software, ni los promotores o financiadores del proyecto, ni los contratistas o subcontratistas que participaron en las aplicaciones o ejemplos de uso de los modelos asumen ninguna responsabilidad por la utilización que el usuario le dé a los resultados que aquí se presentan, por lo tanto están libres de responsabilidad por las pérdidas, daños, perjuicios o efectos que pueda derivarse por la utilización o interpretación de estos ejemplos demostrativos.

# Tabla de contenido

---

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>Metodología de evaluación del riesgo.....</b>	<b>2-1</b>
<b>3</b>	<b>Amenaza sísmica .....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Eventos Históricos.....	3-1
3.2	Evaluación de la amenaza.....	3-2
<b>4</b>	<b>Amenaza por huracán .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Eventos Históricos.....	4-1
4.2	Evaluación de la amenaza.....	4-2
<b>5</b>	<b>Amenaza por deslizamiento .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Eventos Históricos.....	5-1
5.2	Evaluación de la amenaza.....	5-1
<b>6</b>	<b>Inventario de elementos expuestos .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	Levantamiento de la información básica .....	6-1
6.2	Información de exposición de predios .....	6-2
6.3	Información de vulnerabilidad .....	6-6
<b>7</b>	<b>Resultados de la evaluación .....</b>	<b>7-1</b>
7.1	Evaluación probabilista del riesgo de desastre .....	7-1
7.1.1	Resultados para sismo.....	7-1
7.1.2	Resultados para viento huracanado.....	7-5
7.1.3	Resultados agrupados.....	7-8
7.1.4	Mapas de riesgo .....	7-9
7.2	Análisis determinista del riesgo por deslizamiento .....	7-10
<b>8</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>8-1</b>
<b>9</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>9-1</b>

# Índice de figuras

---

FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE CIUDAD DE GUATEMALA.....	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S <sup>2</sup> ] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO .....	3-3
FIGURA 3-2 EVENTOS ESTOCÁSTICOS REPRESENTATIVOS A NIVEL NACIONAL. ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO EN CM/S <sup>2</sup> .....	3-4
FIGURA 3-3 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN CIUDAD DE GUATEMALA PARA LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO.....	3-4
FIGURA 4-1 MAPAS DE VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO .....	4-3
FIGURA 4-2 CURVA DE AMENAZA POR HURACÁN EN CIUDAD DE GUATEMALA PARA VELOCIDAD DEL VIENTO EN KM/H.....	4-3
FIGURA 5-1 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO PARA CIUDAD DE GUATEMALA. ESTADO DE SUELO SATURADO. ANÁLISIS MÉTODO DE FALLA TRASLACIONAL.....	5-2
FIGURA 6-1 MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS DE CIUDAD DE GUATEMALA .....	6-2
FIGURA 6-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y ÁREA CONSTRUIDA POR SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	6-4
FIGURA 6-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y ÁREA CONSTRUIDA POR SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	6-4
FIGURA 6-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y ÁREA CONSTRUIDA POR NÚMERO DE PISOS.....	6-5
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y ÁREA CONSTRUIDA POR NÚMERO DE PISOS.....	6-5
FIGURA 6-6 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA SISMO .....	6-7
FIGURA 6-7 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA VIENTO .....	6-7
FIGURA 6-8 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR SISMO EMPLEADAS .....	6-8
FIGURA 6-9 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO HURACANADO EMPLEADAS.....	6-8
FIGURA 6-10 CURVA DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO .....	6-9
FIGURA 7-1 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-2
FIGURA 7-2 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-3
FIGURA 7-3 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS .....	7-3
FIGURA 7-4 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .....	7-4
FIGURA 7-5 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIOECONÓMICA.....	7-4
FIGURA 7-6 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-5
FIGURA 7-7 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-6
FIGURA 7-8 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS .....	7-7
FIGURA 7-9 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .....	7-7
FIGURA 7-10 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIOECONÓMICA.....	7-8
FIGURA 7-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-9
FIGURA 7-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR ZONA HOMOGÉNEA PARA TERREMOTO .....	7-9
FIGURA 7-13 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR ZONA HOMOGÉNEA PARA VIENTOS HURACANADOS .....	7-10
FIGURA 7-14 PÉRDIDA ESPERADA POR SISTEMA ESTRUCTURAL .....	7-11
FIGURA 7-15 PÉRDIDA ESPERADA POR PREDIO PARA EL ESCENARIO SELECCIONADO .....	7-12

## Índice de tablas

---

TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO GUATEMALTECO .....	3-2
TABLA 4-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO GUATEMALTECO .....	4-1
TABLA 5-1 DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS EN GUATEMALA .....	5-1
TABLA 6-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES .....	6-3
TABLA 6-2 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	6-3
TABLA 6-3 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS .....	6-5
TABLA 6-4 CURVAS DE VULNERABILIDAD EMPLEADAS .....	6-6
TABLA 7-1 TEMPORALIDADES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO .....	7-1
TABLA 7-2 RESULTADOS GENERALES .....	7-1
TABLA 7-3 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) .. .....	7-2
TABLA 7-4 RESULTADOS GENERALES .....	7-5
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) .. .....	7-6
TABLA 7-6 .....	7-8
TABLA 7-7 VALOR EXPUESTO Y PÉRDIDA ECONÓMICA .....	7-10
TABLA 7-8 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ESPERADA).....	7-11

# 1 Introducción

---

Ciudad de Guatemala, capital de Guatemala, es una ciudad con una población de aproximadamente 935,810 habitantes. Se encuentra localizada a 80 kilómetros de la Costa Pacífica. Cuenta con una extensión de 124 km<sup>2</sup> y dentro del área metropolitana da cabida a aproximadamente 210,000 predios distribuidos principalmente en uso residencial y comercial, y en menor medida con uso institucional e industrial. El sistema estructural predominante en la ciudad es la mampostería, tanto simple, como confinada y reforzada.



*Figura 1-1  
Localización geográfica de Ciudad de Guatemala*

Guatemala se encuentra en una zona de alta susceptibilidad al paso de huracanes generados en la cuenca del Atlántico; durante el 27 de octubre y el 1 de noviembre de 1961 el huracán Hattie-Simone de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson transitó sobre Belice, Honduras y Guatemala causando considerables destrozos en diferentes poblaciones. Alcanzó vientos de hasta 300 km/h y presiones mínimas de 92 kPa. A su paso por Centroamérica se estima que causó el fallecimiento de 319 personas y daños cuantificados en 440 millones de dólares en valor presente.

Durante el 23 de octubre y el 3 de noviembre de 1998, el huracán Mitch de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson atravesó Guatemala generando inundaciones y deslizamientos en diferentes puntos del país. Alcanzó vientos sostenidos de hasta 285 km/h y presiones mínimas de 90 kPa.

El 4 de febrero de 1976, un sismo de magnitud 7.5 sacudió el territorio guatemalteco siendo el que mayor afectación y destrucción generó en el siglo XX en el país. La gran mayoría de daños ocurrieron en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas.

En el proceso de conocimiento y evaluación del riesgo que se deriva de la ocurrencia de eventos extremos, se deben identificar condiciones de la población relativas a la exposición del capital físico y humano y su distribución geográfica, la vulnerabilidad física y de la población y del potencial de daños y pérdidas que podrían presentarse. A través de un procedimiento de este tipo es posible contar con información útil para la toma de decisiones por parte de los funcionarios encargados de la planeación y desarrollo al poderse estimar la magnitud del impacto económico y social para la ciudad y el país. Así mismo, se pueden establecer parámetros para la formulación de planes dentro de la gestión ex ante y ex post del riesgo de desastres.

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar el riesgo potencial de la Ciudad de Guatemala ante eventos por viento huracanado, deslizamiento, volcán y eventos sísmicos para así expresar el riesgo en términos de pérdidas económicas anuales esperadas (PAE), pérdidas máximas probables (PML) y afectación directa sobre la población. El análisis se realiza en términos probabilistas para las amenazas de sismo y huracán y en términos deterministas para una erupción volcánica correspondiente a un escenario histórico.

Los resultados de la simulación se presentan de manera que puedan ser usados para análisis detallados posteriores y como insumos para la preparación del plan de contingencia o de atención de emergencias, la formulación de planes de reducción de la vulnerabilidad física, y para plantear posibles estrategias de protección financiera.

## 2 Metodología de evaluación del riesgo

---

Para la evaluación del riesgo por sismo, viento huracanado y deslizamiento de Ciudad de Guatemala – Guatemala se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos, ERN 2010), y en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La metodología para la evaluación del riesgo por viento huracanado, sismo y deslizamiento de Ciudad de Guatemala incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza sísmica: ésta se evalúa mediante un análisis probabilístico (PSHA - Probabilistic Seismic Hazard Analysis) el cual permite obtener resultados relacionados con pérdidas anuales esperadas para cada uno de los bienes y para el portafolio en general.
- (b) Evaluación de la amenaza por vientos huracanados: ésta se evalúa mediante un análisis probabilista el cual permite obtener resultados relacionados con pérdidas anuales esperadas para cada uno de los bienes y para el portafolio en general.
- (c) Evaluación de la amenaza por deslizamiento siguiendo la siguientes metodologías de análisis:
  - Método de Mora-Varhson
  - Hipótesis de falla translacional o plana

Las condiciones definidas en los análisis fueron las siguientes:

- Humedad: condición que depende directamente de la saturación del suelo. Para este caso se trabaja un escenario considerando suelo completamente saturado.
  - Propiedades de los suelos: es necesario definir las características geotécnicas del área de estudio a partir de mapas de pesos unitarios, cohesiones del suelo en condiciones drenadas, ángulos de fricción en condiciones drenadas y espesores de los estratos de suelo potencialmente deslizables.
  - Propiedades de las rocas (litología): dependiendo de los tipos de formaciones existentes en el área de estudio, se requiere caracterizar el peso unitario, ángulo de fricción y cohesión de la roca.
  - Casos de análisis: el análisis se realizó para el escenario de humedad definido anteriormente, y un escenario sísmico detonante.
- (d) Funciones de vulnerabilidad: los diferentes tipos constructivos identificados en la zona se caracterizan mediante una función de vulnerabilidad que da cuenta de la capacidad de la edificación para resistir la acción de los diferentes eventos considerados. Estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado (probable) de las edificaciones de cada tipo estructural particular, por lo que su uso es adecuado en términos estadísticos cuando existe un inventario amplio

de activos expuestos. El análisis utiliza las funciones de vulnerabilidad determinadas siguiendo las metodologías y herramientas propuestas en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2009).

(e) Evaluación del riesgo: la evaluación del riesgo se lleva a cabo mediante el asocio de las amenazas consideradas sobre el inventario de activos expuestos con las funciones de vulnerabilidad relacionadas. Para el efecto se emplea la herramienta de evaluación de riesgo CAPRA-GIS (ERN 2009). Se evalúa, entonces, el porcentaje de daños esperado en cada una de las edificaciones expuestas para cada uno de los escenarios planteados y para el análisis probabilista integral. La valoración del riesgo se presenta en términos de estimaciones de:

- Porcentaje de afectación física de las construcciones.
- Pérdidas económicas directas aproximadas por predio.
- Pérdidas económicas máximas probables.
- Pérdidas anuales esperadas.

### 3 Amenaza sísmica

---

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

El territorio de Guatemala se encuentra ubicado en la convergencia de tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos. Los principales rasgos topográficos del país han sido determinados por el movimiento relativo de dichas placas, derivando así mismo en alta actividad sísmica y volcánica. La interacción entre las placas Norteamérica y Caribe es de tipo transcurrente en territorio guatemalteco, con manifestación a nivel de superficie delimitada principalmente por los sistemas de falla Chixoy-Polochic y Motagua. En la costa pacífica, la interacción entre la placa Cocos y Caribe es de tipo convergente (zona de subducción). Los sistemas transcurrentes como Chixoy-Polochic y Motagua son capaces de generar terremotos de magnitud superior a 7, a profundidades relativamente bajas (e.g. terremoto de Guatemala de 1976). Por otra parte, la subducción es capaz de generar eventos sísmicos de muy alta magnitud (8+), a profundidades que son variables a medida que se adentra en el continente, siendo más probable la generación de un sismo relativamente superficial en cercanías a la costa Pacífica. Así mismo la actividad tectónica de la región ha generado deformaciones al interior de las placas Norteamérica y Caribe, produciendo sistemas secundarios de falla como Jalpatagua, Mixco, Santa Catarina Pinula, entre otros.

El objetivo de la simulación que aquí se presenta es dimensionar un escenario de consecuencias que podrían ser causadas por un fuerte terremoto en el municipio de Ciudad de Guatemala, teniendo como base la información de amenaza más actualizada posible y en la información digital disponible sobre los elementos o activos expuestos en el municipio.

#### 3.1 Eventos Históricos

El 4 de febrero de 1976, un sismo de magnitud 7.5 sacudió el territorio guatemalteco siendo el que mayor afectación y destrucción generó en el siglo XX en el país. La gran mayoría de daños ocurrió en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas.

En la Tabla 3-1 se presentan los principales sismos que han afectado el territorio guatemalteco.

**Tabla 3-1**  
**Principales sismos que han afectado el territorio guatemalteco**

Año	Fecha	Epicentro	Magnitud (Intensidad)	Consecuencias
1765	24 OCT	Ostuncalco	(VII)	Evento asociado a la subducción, destrucción, grietas y deslizamientos. Sin pérdidas de vidas humanas.
1773	29 JUL	Antigua	(VII)	Evento asociado a la subducción, daño severo en Antigua y Chimaltenango.
1816	22 JUL	Alta Verapaz	(VII)	Iglesias y casas destruidas en Verapaz; deslizamientos. 23 muertos y 57 heridos.
1913	8 MAR	Cuilapa	5.0	Evento asociado a la subducción, destrucción, grietas y deslizamientos. Sin pérdidas de vidas humanas.
1917	26 DIC	Ciudad de Guatemala	(VIII)	Destrucción de la capital tras haberse sentido una serie de premonitorios y posteriores réplicas. Se reportaron 250 personas fallecidas.
1942	6 AGO	San José	7.9	Extensos daños materiales en las poblaciones de Villa Nueva y San Pedro.
1976	4 FEB	Motagua	7.5	Destrucción de Ciudad de Guatemala debido a una ruptura a lo largo de la falla Motagua. Desplazamientos laterales de hasta 3 m. Se reportaron más de 25,000 muertos y 75,000 heridos.
1985	11 OCT	Uspantán	5.0	Evento con una magnitud considerablemente baja pero que destruyó más del 80% de la ciudad de Uspantán.
1988	3 NOV	San Vicente Pacaya	6.0	Tras el evento se reportó el fallecimiento de 5 personas.
1991	18 SEP	San Miguel Pochuta	5.3	El sismo destruyó el 80% de la población de San Miguel Pochuta.
1993	10 SEP	San Marcos	7.2	Daños de considerable magnitud a lo largo de la costa pacífica de Guatemala. Se reportó un fallecido como consecuencia del evento asociado a la zona de subducción.
1995	19 DIC	Tucurú	5.3	Daños en edificaciones y deslizamientos en la población de Tucurú. Se sintió en la capital de la ciudad. Se reportó una persona fallecida.
1998	10 ENE	Zona de subducción	5.8	Edificios afectados en los departamentos de San Marcos y Quezaltenango. Adicionalmente se reportó la destrucción de casas en el departamento de Sololá.
1998	2 MAR	Zona de subducción	5.6	Sismos asociados a la zona de subducción que fueron fuertemente sentidos en las poblaciones de Retalhleu y Suchitepéquez.
1999	11 JUL	Golfo de Honduras	6.7	El evento localizado en la frontera con Honduras causó daños considerables en las poblaciones localizadas sobre las costas de ambos países. El movimiento está asociado con la falla Motagua.
2009	3 MAY	Patzún	6.2	El evento sacudió las zonas sur y centro del país sin dejar daños considerables a nivel económico ni pérdidas de vidas al ser relativamente profundo.
2010	23 FEB	San Mateo Ixtatán	5.6	El evento fue localizado en la zona noroccidental del país cercano a la frontera con México. A pesar de su baja profundidad no generó daños de consideración ni pérdidas de vidas.

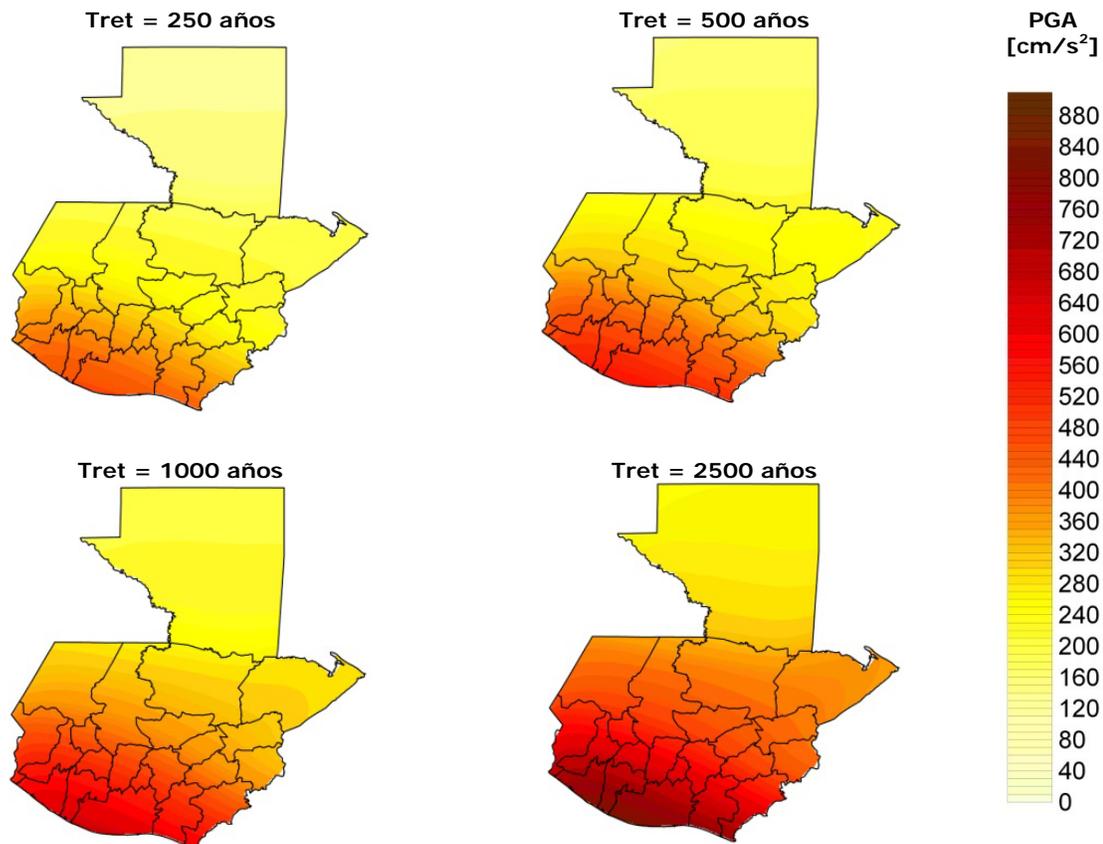
### 3.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza sísmica para Guatemala se calculó empleando los avances presentados en el proyecto regional RESIS II (NORSAR et. al. 2008), el cual constituye el estudio más avanzado a la fecha con relación a evaluación de amenaza sísmica en América Central. A

partir de la sismotectónica de la región y la sismicidad registrada e histórica, se definieron una serie de fuentes sismogénicas, las cuales cubren la totalidad del territorio centroamericano y conservan las condiciones de sismicidad generales y su variación regional.

Con base en dicha información y empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010) y en el sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org) se construyó un catálogo de eventos estocásticos que representan en conjunto la amenaza sísmica de la región.

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 19,380 escenarios de sismo, según la metodología presentada en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010), cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada. La Figura 3-1 presenta los mapas de amenaza sísmica, en términos de la aceleración máxima del terreno, para diferentes períodos de retorno.



*Figura 3-1*

*Mapas de aceleración máxima del terreno [cm/s<sup>2</sup>] para diferentes períodos de retorno*

La Figura 3-2 presenta dos eventos estocásticos críticos a nivel nacional para Guatemala. El evento mostrado a la izquierda corresponde a un evento similar al sismo de 1976 en la falla Motagua. El evento a la derecha corresponde a un evento que ocurre en la zona de subducción sobre la Costa Pacífica de Guatemala.

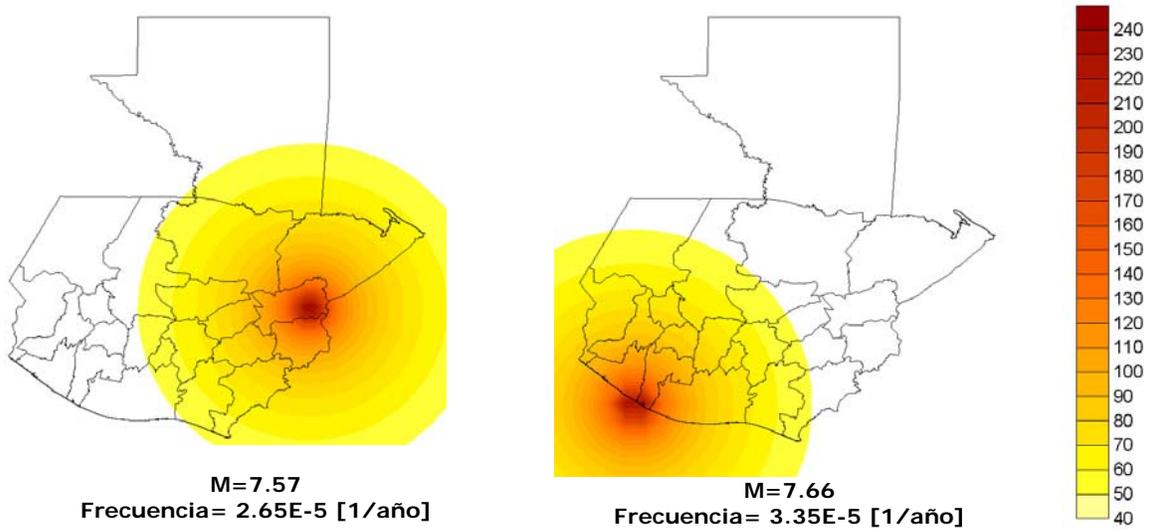


Figura 3-2

Eventos estocásticos representativos a nivel nacional. Aceleración máxima del terreno en  $cm/s^2$

Por otro lado la Figura 3-3 presenta la curva de amenaza para un punto representativo del municipio.

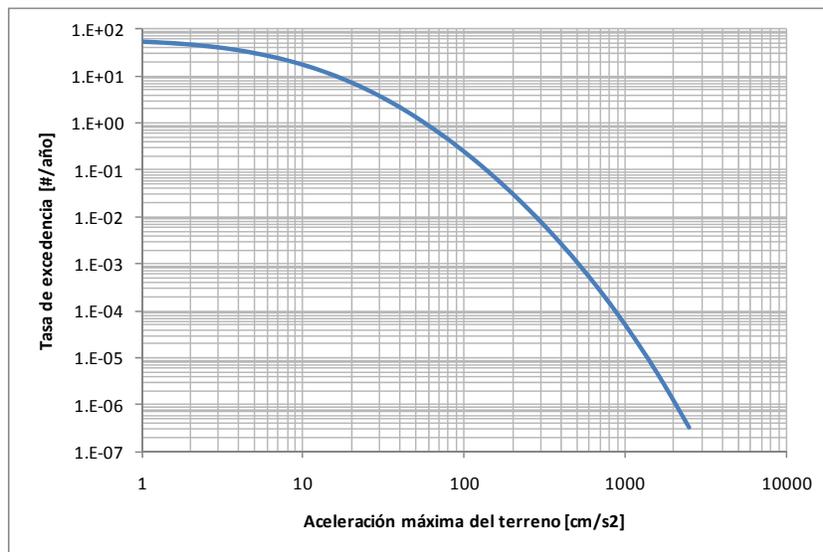


Figura 3-3

Curva de amenaza sísmica en Ciudad de Guatemala para la aceleración máxima del terreno

## 4 Amenaza por huracán

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 4.1 Eventos Históricos

En 1998 el huracán Mitch afectó gran parte del territorio guatemalteco, provocando a su paso 258 muertos y más de 100,000 damnificados. Los daños fueron cuantificados en más de \$750 millones de US dólares. Posteriormente en 2005 el huracán Stan afectó la mayoría del territorio nacional de Guatemala provocando a su paso 1,500 muertos, 3,000 desaparecidos y aproximadamente 450,000 damnificados. El monto total de pérdidas superó los \$985 millones de US\$. En la Tabla 4-1 se presentan los principales huracanes que han afectado el territorio guatemalteco

*Tabla 4-1  
Principales huracanes que han afectado el territorio guatemalteco*

Nombre	Año	Fecha	Cat. SS	Pérdidas directas (US\$ Millones)	Muertos	Desaparecidos	Heridos	Afectados
Hattie-Simone	1961	27 OCT - 1 NOV	5		11			
Francelia	1969	29 AGO - 4 SEP	3	15				
Fifi	1974	14-24 SEP	2		200			1,500
Greta-Olivia	1978	13 - 23 SEP	4					
Joan-Miriam	1988	11 OCT - 2 NOV	4					
Opal	1995	27 SEP - 6 OCT	4		31			
Mitch	1998	22 OCT- 5 NOV	5	748	258			100,000
Gordon	2000	14-21 SEP	1		23			
Keith	2000	28 SEP - 6 OCT	4		1			
Iris	2001	8-21 NOV	4		5		100	27 500
Adrian	2005	17-21 MAY	1		2			
Stan	2005	1-5 OCT	1	988	1,500	3,000		475 000
Felix	2007	31 AGO - 5 SEP	5					850
Dolly	2008	20-25 JUL	2		17			

## 4.2 Evaluación de la amenaza

El análisis se realiza con base en las trayectorias y características de los registros históricos disponibles. Los eventos estocásticos se generan mediante simulación utilizando una técnica “*random-walk*” que involucra un muestreo de las distribuciones históricas en la localización de generación de la tormenta, para calcular una velocidad de avance que permita ir moviendo la tormenta hacia adelante, y haciendo muestreo en la distribución en la nueva ubicación para el siguiente intervalo de tiempo y así sucesivamente. Cada trayectoria simulada es diferente de cada otra trayectoria simulada o histórica pero el conjunto de eventos simulado mantiene las mismas propiedades estadísticas del conjunto de eventos históricos. Esta metodología se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010) y sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

Para la modelación de la amenaza se empleó información topográfica con resolución de 30m obtenida del STRN de la NASA. Empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010) y en el sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org), se construyó un catálogo de huracanes estocásticos e históricos, que representan de manera integral la amenaza del país.

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 76 escenarios de viento huracanado y marea de tormenta, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada, y que corresponden a características de eventos históricos. La Figura 4-1 presenta los mapas de amenaza por huracán, en términos de velocidad máxima de vientos huracanados, para diferentes períodos de retorno.

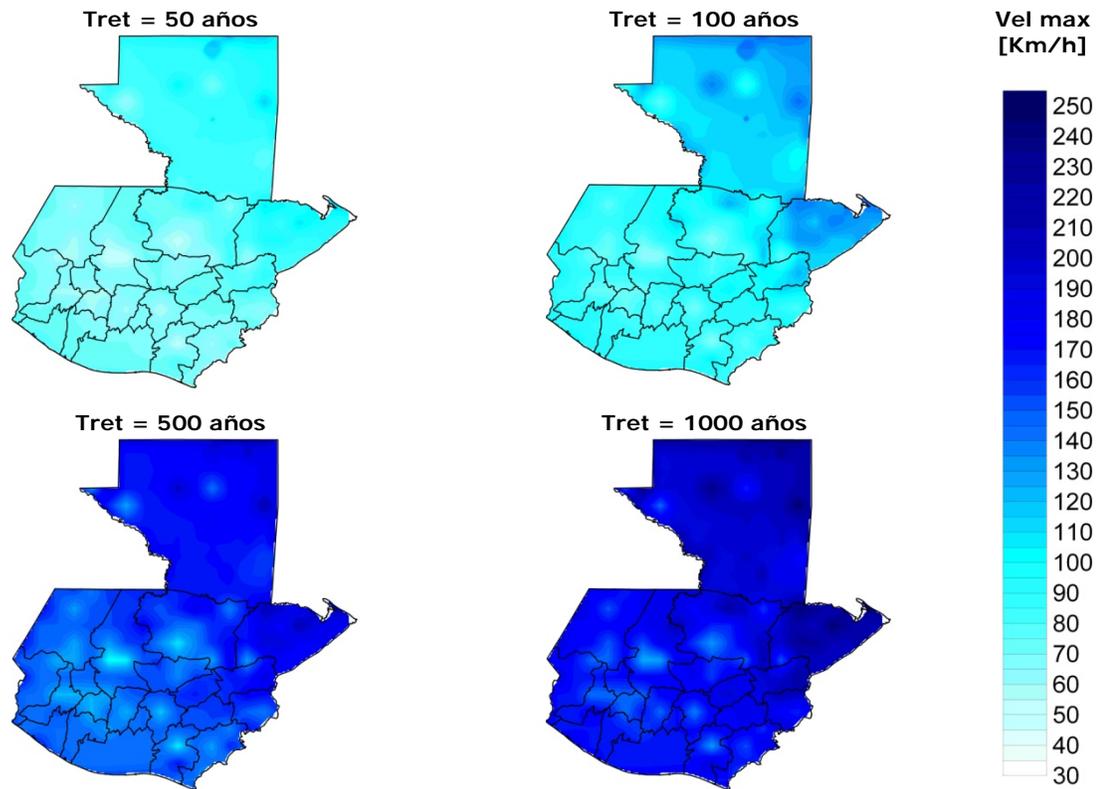


Figura 4-1

Mapas de velocidad máxima del viento [Km/h] para diferentes períodos de retorno

Por otro lado la Figura 4-2 presenta la curva de amenaza de viento para un punto representativo de la ciudad.

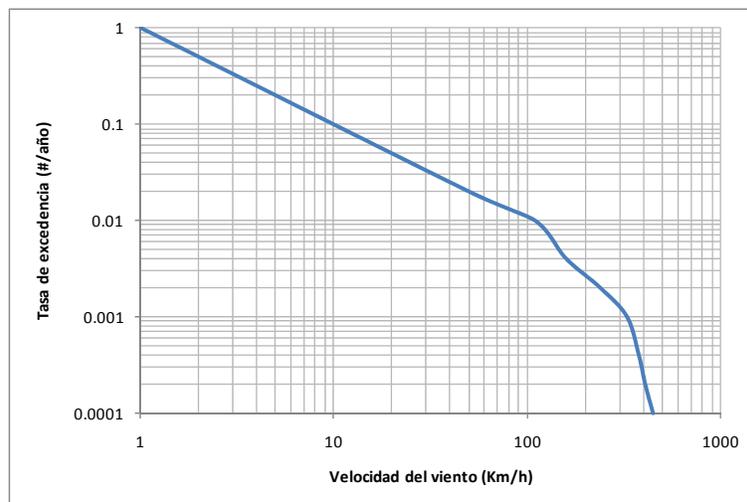


Figura 4-2

Curva de amenaza por huracán en Ciudad de Guatemala para velocidad del viento en Km/h

## 5 Amenaza por deslizamiento

---

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 5.1 Eventos Históricos

El territorio guatemalteco presenta condiciones específicas de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos. La Tabla 5-1 presenta algunos de los deslizamientos más representativos ocurridos desde mediados del siglo XX.

*Tabla 5-1  
Deslizamientos ocurridos en Guatemala*

Fecha	Localización	Fallecidos	Heridos
1948	Lavarreda	7	
1963	Senahú	6	7
1970	Ciudad de Guatemala	6	
1986	Ciudad de Guatemala	8	
1987	La Democracia	40	
2000	Senahú	14	
2002	El Porvenir	32	
2003	Aldea Chichicaste	22	
2005	Senahú	22	32
2008	La Unión	12	
2009	San Cristóbal Verapaz	33	

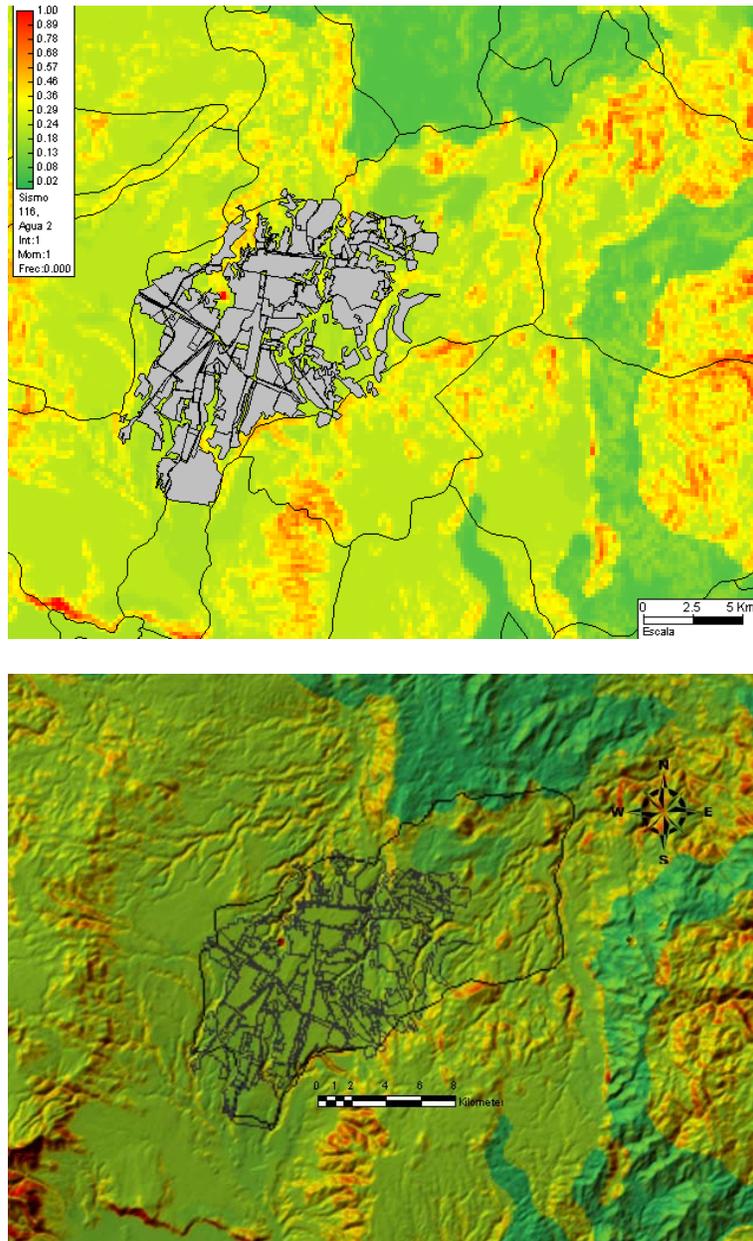
### 5.2 Evaluación de la amenaza.

Para la evaluación de la amenaza por deslizamiento en la zona seleccionada de estudio se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1-2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN 2010), y en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La metodología para la evaluación de la amenaza por deslizamiento en la zona de estudio incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza por deslizamiento inducido por sismo en condiciones de propiedades geotécnicas saturadas.
- (b) Levantamiento de información básica para el estudio lo cual incluye como mínimo el modelo digital de elevación de la zona de estudio y las propiedades geotécnicas de los suelos superficiales.
- (c) Evaluación de la amenaza por deslizamiento siguiendo la metodología de falla traslacional o plana para un talud infinitamente largo.

La amenaza sísmica detonante se consideró mediante un escenario determinista correspondiente a un sismo de magnitud 6.75 Mw. En La Figura 5-1 se presenta el resultado del análisis de amenaza, bajo condiciones de suelo saturado y terremoto, en términos del factor de inestabilidad, el cual corresponde al inverso del factor de seguridad.



**Figura 5-1**  
*Mapa de amenaza por deslizamiento para Ciudad de Guatemala. Estado de suelo saturado. Análisis método de falla traslacional.*

## 6 Inventario de elementos expuestos

---

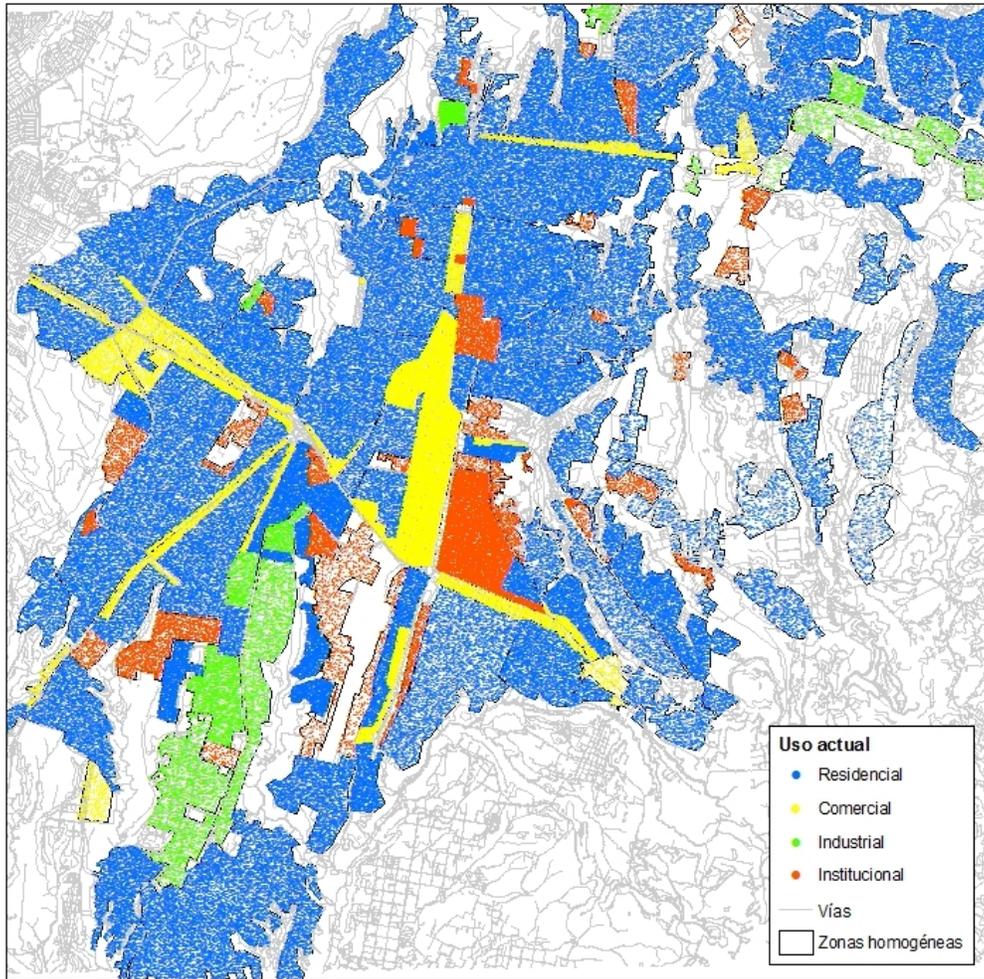
### 6.1 Levantamiento de la información básica

Para Ciudad de Guatemala no se cuenta con un censo poblacional que relacione el número actual de personas y su distribución o actividad económica. Tampoco se cuenta con una base de datos catastral, ni de información relacionada con sistemas constructivos, áreas de construcción, valores expuestos, fecha de construcción y otros datos que resultan de utilidad en la determinación de la exposición económica, humana y de la vulnerabilidad.

Debido a lo anterior se procedió a conformar la base de datos de exposición de edificaciones, con base en un levantamiento digital a partir de imágenes de satélite, complementado con estadísticas de población, fotografías, indicadores oficiales y conceptos de expertos locales. Esta información, al igual que cualquier otro modelo de información aproximada, es susceptible de ser mejorada, actualizada y depurada mediante trabajo intenso de campo o mediante la disponibilidad de la información catastral detallada. La calidad y resolución de la información de exposición levantada define la confiabilidad y resolución de los resultados del análisis de riesgo.

La Figura 6-1 presenta una imagen de las zonas homogéneas de la ciudad, digitalizadas utilizando la herramienta web de Zonificación Urbana de CAPRA (disponible en [www.ecapra.org/zonhu.php](http://www.ecapra.org/zonhu.php)). Dicha herramienta permite identificar, sobre imágenes satelitales de Google Maps, zonas de exposición homogénea, es decir, zonas en donde pueden identificarse condiciones de uso, niveles de ocupación, costo y densidades de construcción similares. Cada zona es luego calificada en términos de porcentajes identificados de tipos constructivos, con relación a lo observado durante el levantamiento.

Estas zonas homogéneas fueron luego discretizadas, para simular los predios de la ciudad. El proceso de discretización consiste en ubicar aleatoriamente puntos dentro de cada zona homogénea, asignando a cada punto un costo y ocupación consistente con los valores identificados en la zona, y un tipo constructivo en función de los porcentajes previamente definidos. El número total de predios ubicados por zona es consistente con la densidad de construcciones identificada en el levantamiento.



*Figura 6-1*  
*Mapa de zonas homogéneas de Ciudad de Guatemala*

## 6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición de Ciudad de Guatemala, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asignan mediante los métodos aproximados mencionados.

La Tabla 6-1 presenta algunos indicadores generales utilizados para generar la base de datos de exposición de edificaciones para esta población.

**Tabla 6-1**  
**Indicadores generales de exposición de edificaciones**

Indicador	Unidad	Valor
Población total estimada	Hab	935,810
Área total de terreno urbano	km <sup>2</sup>	124
Densidad de población	Hab/km <sup>2</sup>	7,540
No. total de Edificaciones		209,930
Área de construcción	m <sup>2</sup>	52,480 x10 <sup>3</sup>
Densidad construcción urbana	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> terreno urbano	0.42
Valoración total de construcciones	US\$ millones	25,090
Valor promedio/m <sup>2</sup> construido	US\$/m <sup>2</sup>	480

A continuación se presentan algunas estadísticas resultantes del proceso de conformación de la base de exposición de edificaciones. La Tabla 6-2 y la Figura 6-2 y Figura 6-3 presentan la distribución general de valores expuestos y ocupación de edificaciones, para los diferentes tipos estructurales identificados. La descripción detallada de los sistemas estructurales se encuentra en el informe ERN-CAPRA-T2.2 (Propuesta de Funciones e Indicadores de Vulnerabilidad, ERN2010).

**Tabla 6-2**  
**Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales**

Sistema	Código Sistema	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Madera	W-SLFB-1	1,179,778	434.29	19,574
Adobe	A-SPSB-1	3,408,452	1,507.61	44,204
Bahareque	B-SLFB-1	801,671	388.81	7,038
Mampostería simple	MS-SLSB-1	1,082,312	391.85	17,790
Concreto prefabricado	CP-FLSB-2	5,478,749	2,656.43	76,627
Mampostería confinada	MC-RCSM-4	11,177,797	5,708.16	159,120
	MC-RCSM-5	698,469	338.76	5,588
	MC-RLSB-2	2,761,929	1,352.65	33,810
Mampostería reforzada	MR-RCSB-2	7,586,835	3,908.41	117,798
	MR-RLSB-2	4,188,496	2,120.45	51,014
	MR-SLSB-1	7,651,197	2,540.62	164,025
Pórticos en concreto	PCR-RCSM-5	4,173,172	2,040.07	147,612
Pórticos en acero	PAA-SLSB-B	2,292,527	1,699.91	91,610
<b>Total</b>		<b>52,481,384</b>	<b>25,088.01</b>	<b>935,810</b>

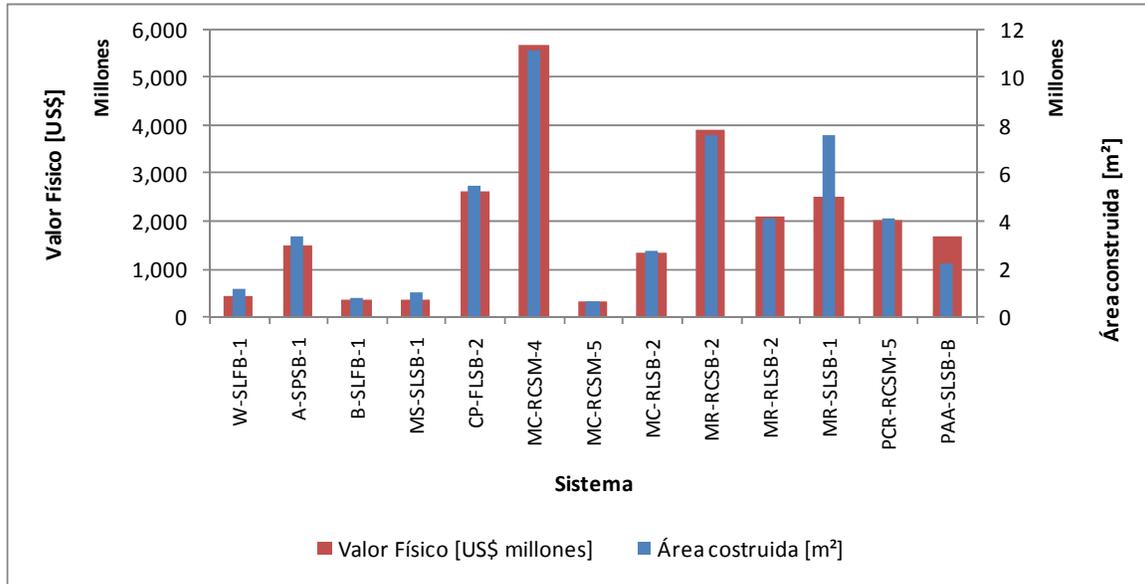


Figura 6-2

Distribución de valores expuestos y área construida por sistemas estructurales

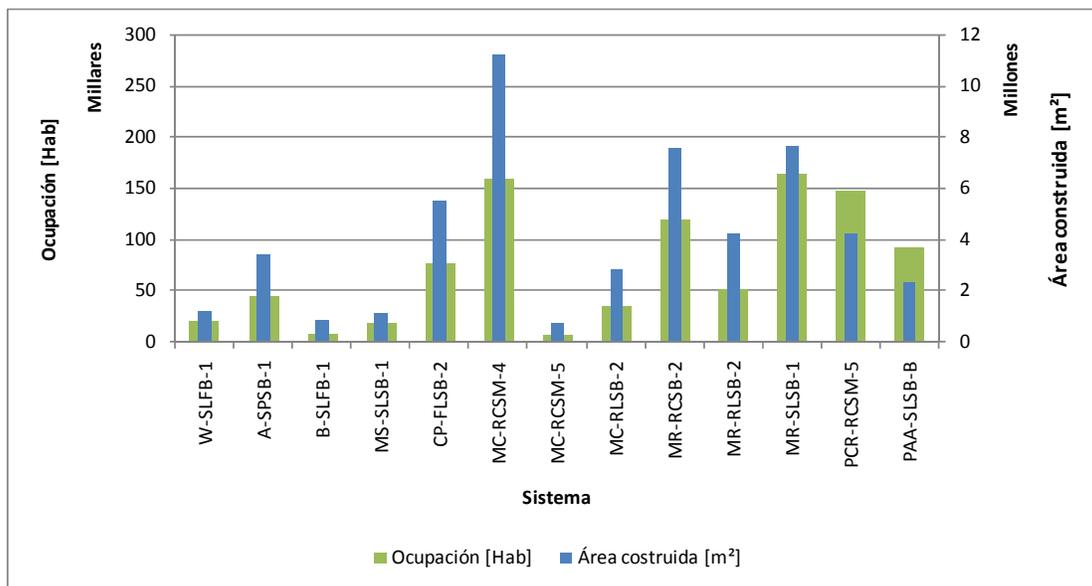


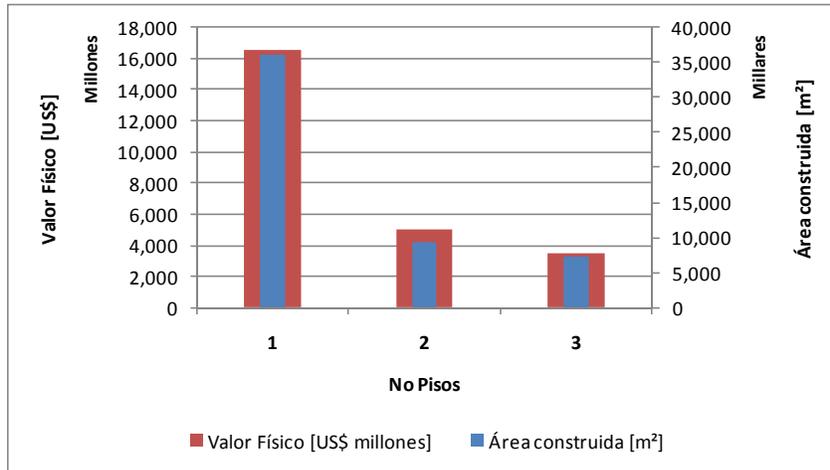
Figura 6-3

Distribución de ocupación y área construida por sistemas estructurales

Por otra parte, la Tabla 6-3 y la Figura 6-4 y Figura 6-5 muestran la distribución de valores expuestos y ocupación, en función del número de pisos de las edificaciones incluidas.

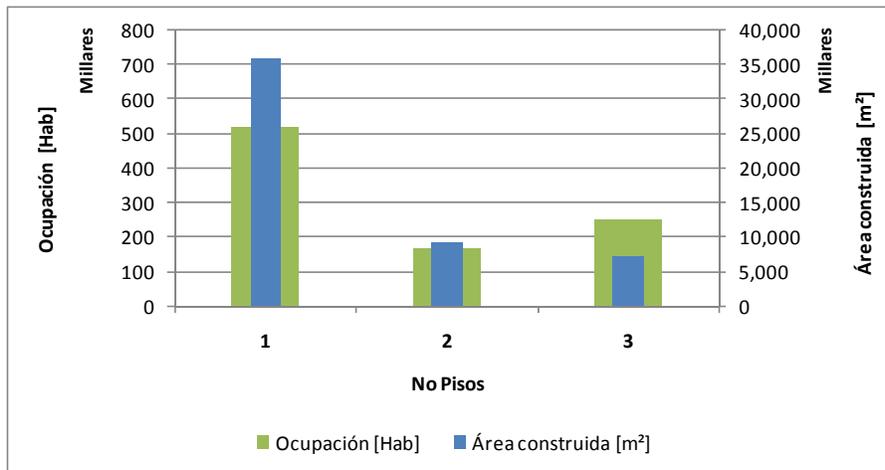
**Tabla 6-3**  
*Valores expuestos y ocupación por número de pisos*

No Pisos	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
1	36,030,989	16,528.40	518,148
2	9,216,103	5,050.98	164,364
3	7,234,292	3,508.63	253,298
<b>Total</b>	<b>52,481,384</b>	<b>25,088.01</b>	<b>935,810</b>



**Figura 6-4**

*Distribución de valores expuestos y área construida por número de pisos*



**Figura 6-5**

*Distribución de ocupación y área construida por número de pisos*

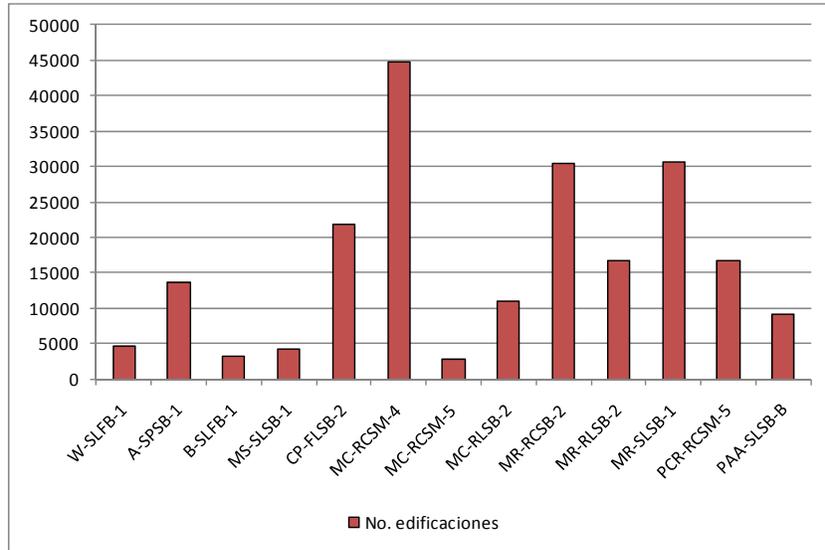
### 6.3 Información de vulnerabilidad

Los tipos estructurales contenidos en la base de datos corresponden a los presentados en la Tabla 6-4.

**Tabla 6-4**  
*Curvas de vulnerabilidad empleadas*

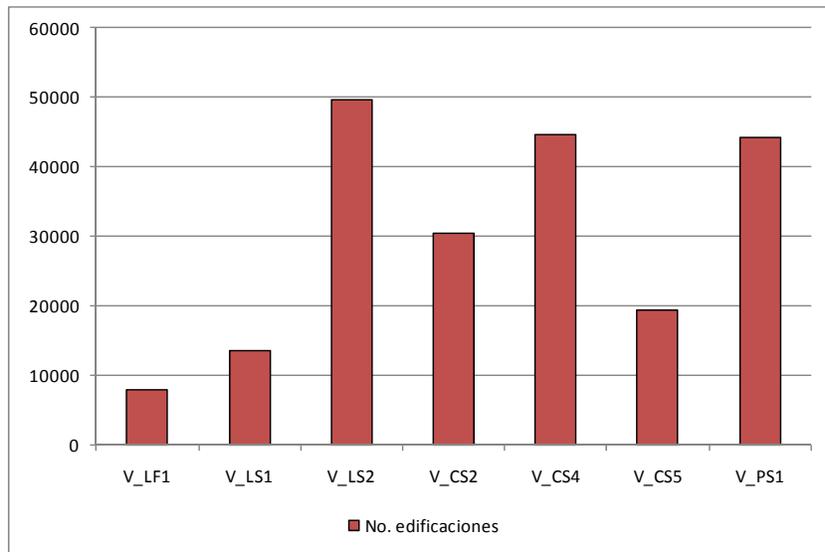
Material	Curva sismo	Curva viento	Curva deslizamiento	Área construida [%]	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
<b>Bahareque</b>						
B-SLFB-1	S_B-SLFB-1	V_LF1	D_Deslizamiento (F_InS)	1.53	388.81	7,038
<b>Adobe</b>						
A-SPSB-1	S_A-SPSB-1	V_PS1	D_Deslizamiento (F_InS)	6.49	1,507.61	44,204
<b>Madera</b>						
W-SLFB-1	S_W-SLFB-1	V_LF1	D_Deslizamiento (F_InS)	2.25	434.29	19,574
<b>Mampostería simple</b>						
MS-SLSB-1	S_MS-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento (F_InS)	2.06	391.85	17,790
<b>Mampostería confinada</b>						
MC-RLSB-2	S_MC-RLSB-2	V_LS2	D_Deslizamiento (F_InS)	5.26	1,352.65	33,810
MC-RCSM-4	S_MC-RCSM-4	V_CS4	D_Deslizamiento (F_InS)	21.30	5,708.16	159,120
MC-RCSM-5	S_MC-RCSM-5	V_CS5	D_Deslizamiento (F_InS)	1.33	338.76	5,588
<b>Concreto prefabricado</b>						
CP-FLSB-2	S_CP-FLSB-2	V_LS2	D_Deslizamiento (F_InS)	10.44	2,656.43	76,627
<b>Mampostería reforzada</b>						
MR-SLSB-1	S_MR-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento (F_InS)	14.58	2,540.62	164,025
MR-RLSB-2	S_MR-RLSB-2	V_LS2	D_Deslizamiento (F_InS)	7.98	2,120.45	51,014
MR-RCSB-2	S_MR-RCSB-2	V_CS2	D_Deslizamiento (F_InS)	14.46	3,908.41	117,798
<b>Pórticos en concreto</b>						
PCR-RCSM-5	S_PCR-RCSM-5	V_CS5	D_Deslizamiento (F_InS)	7.95	2,040.07	147,612
<b>Pórticos en acero</b>						
PAA-SLSB-B	S_PAA-SLSB-B	V_LS1	D_Deslizamiento (F_InS)	4.37	1,699.91	91,610
<b>TOTAL</b>				<b>100</b>	<b>25,088.01</b>	<b>935,810</b>

Las Figura 6-6 y Figura 6-7 muestran el número de registros que representan los tipos estructurales empleados y la curva de vulnerabilidad asociada a cada uno de ellos.



**Figura 6-6**

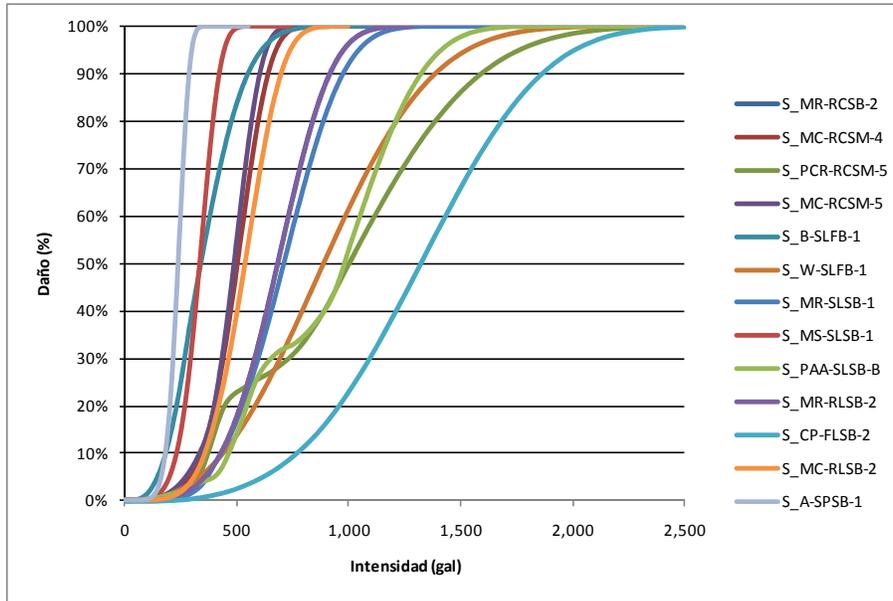
*Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para sismo*



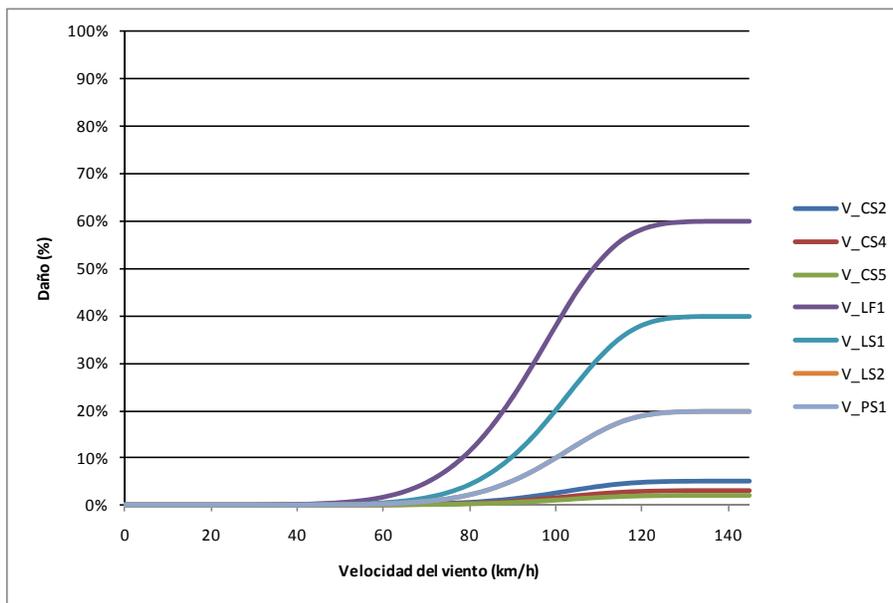
**Figura 6-7**

*Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para viento*

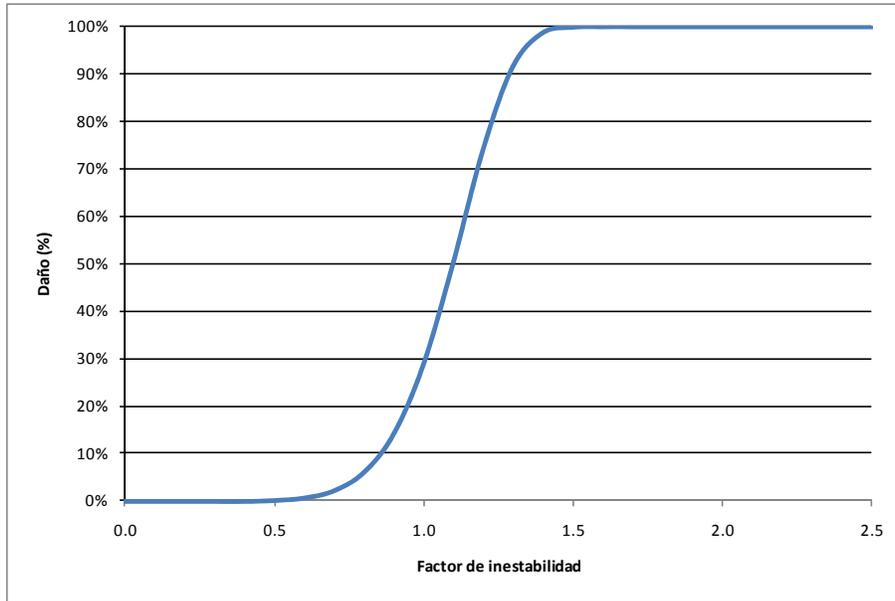
Estos tipos se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física presentadas en la Figura 6-8, Figura 6-9 y Figura 6-10.



**Figura 6-8**  
*Curvas de vulnerabilidad por sismo empleadas*



**Figura 6-9**  
*Curvas de vulnerabilidad por viento huracanado empleadas*



*Figura 6-10*  
*Curva de vulnerabilidad por deslizamiento*

## 7 Resultados de la evaluación

El análisis del riesgo se realiza siguiendo la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Modelo de Evaluación Probabilista del Riesgo, ERN 2010) y en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org) se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

### 7.1 Evaluación probabilista del riesgo de desastre

La evaluación probabilista del riesgo se realizó para las temporalidades presentadas en la Tabla 7-1. Cada temporalidad corresponde a un conjunto de amenazas que ocurren de manera simultánea.

*Tabla 7-1  
Temporalidades empleadas en el cálculo*

AMENAZA	TEMPORALIDAD	
	1	2
Sismo		
Huracán - Viento		

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por las diferentes temporalidades para la Ciudad de Guatemala. En el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org) se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

#### 7.1.1 Resultados para sismo

*Tabla 7-2  
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	25,088.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	91.51
	‰	3.65‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
250	4,220.59	16.82%
500	5,594.08	22.30%
1,000	6,995.82	27.89%
1,500	7,770.95	30.97%

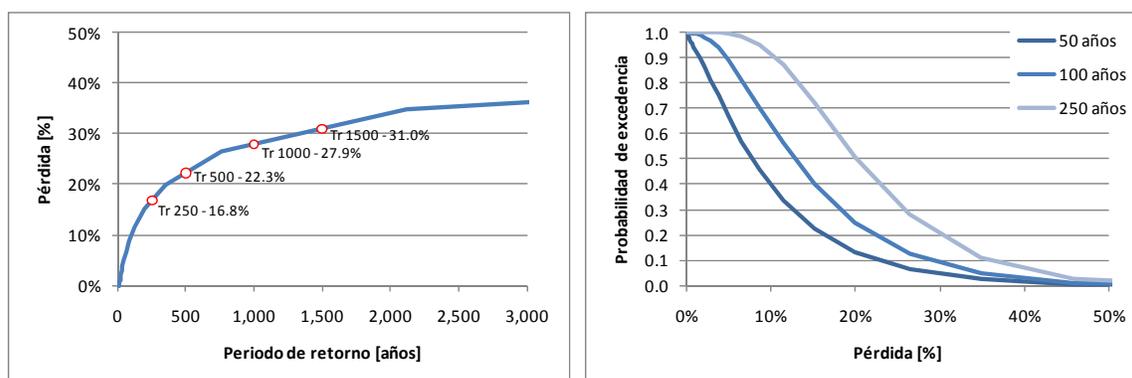


Figura 7-1

## Resultados análisis

(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

Tabla 7-3

Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual esperada	
	[US\$ millones]	[%]	[US\$ millones]	[‰]
A-SPSB-1	1,507.61	6.01%	13.01	8.63‰
B-SLFB-1	388.81	1.55%	2.55	6.57‰
CP-FLSB-2	2,656.43	10.59%	1.58	0.60‰
MC-RCSM-4	5,708.16	22.75%	34.30	6.01‰
MC-RCSM-5	338.76	1.35%	2.08	6.15‰
MC-RLSB-2	1,352.65	5.39%	7.30	5.40‰
MR-RCSB-2	3,908.41	15.58%	13.74	3.51‰
MR-RLSB-2	2,120.45	8.45%	7.64	3.60‰
MR-SLSB-1	2,540.62	10.13%	1.17	0.46‰
MS-SLSB-1	391.85	1.56%	1.87	4.77‰
PAA-SLSB-B	1,699.91	6.78%	2.79	1.64‰
PCR-RCSM-5	2,040.07	8.13%	2.37	1.16‰
W-SLFB-1	434.29	1.73%	1.11	2.55‰
<b>TOTAL</b>	<b>25,088.01</b>	<b>100.00%</b>	<b>91.51</b>	<b>3.65‰</b>

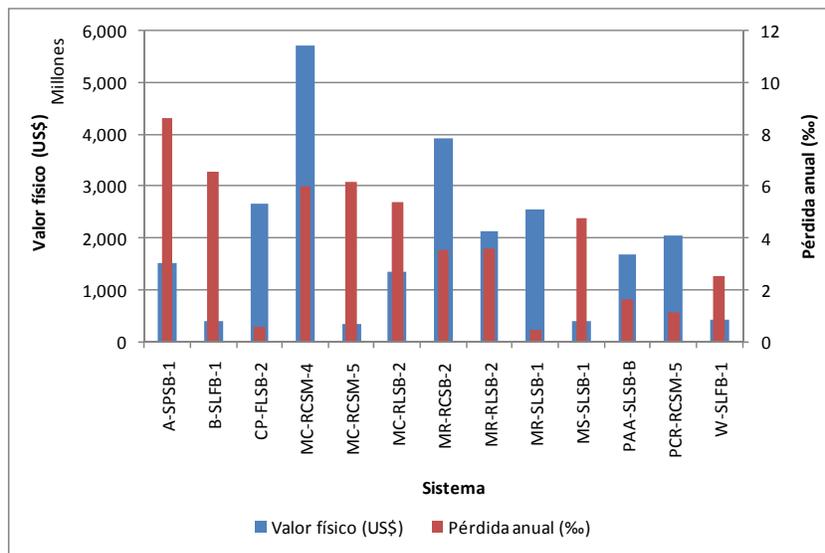


Figura 7-2

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

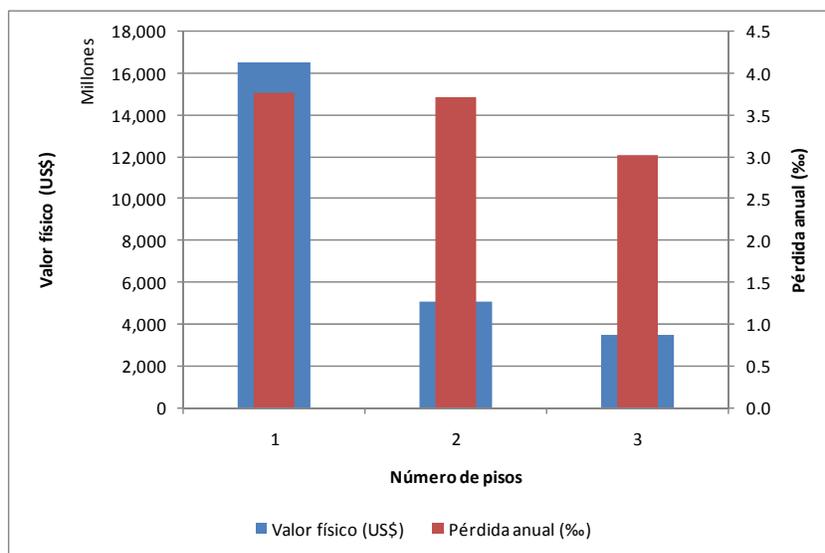


Figura 7-3

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por número de pisos

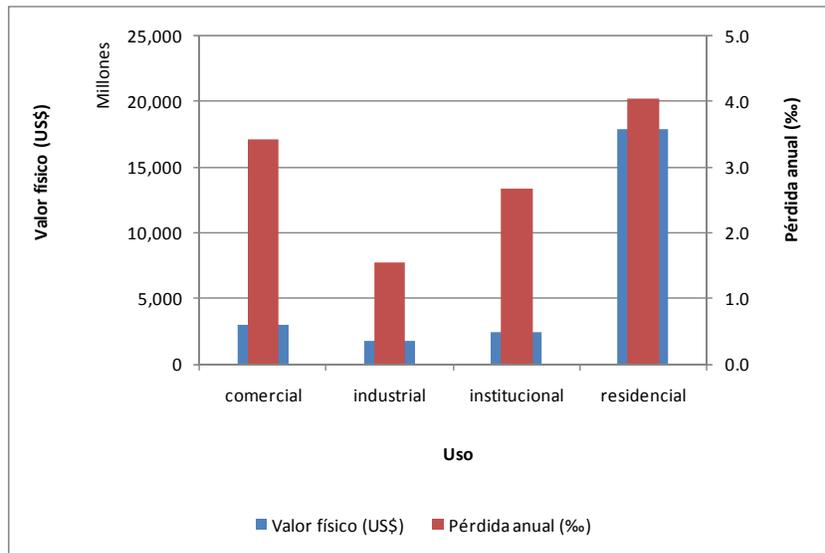


Figura 7-4

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

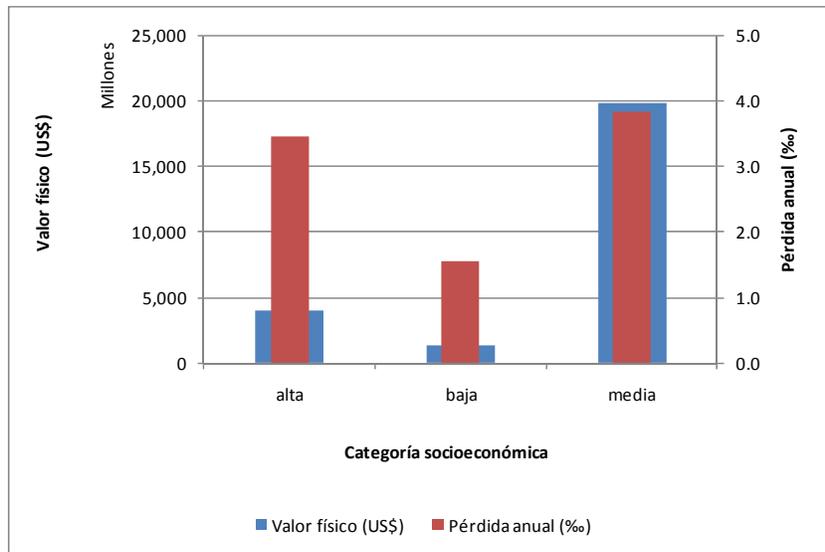


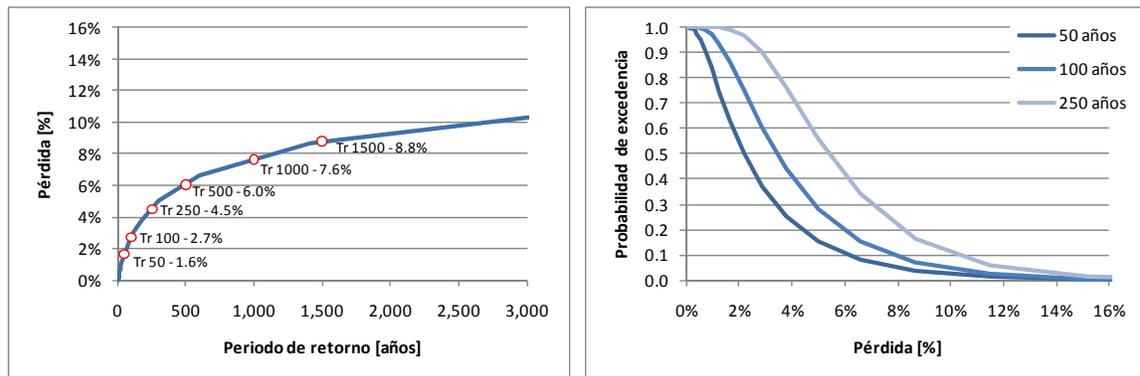
Figura 7-5

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica

## 7.1.2 Resultados para viento huracanado

**Tabla 7-4**  
**Resultados generales**

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	25,088.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	33.96
	‰	1.35‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50	413.00	1.65%
100	681.31	2.72%
250	1,125.98	4.49%
500	1,512.75	6.03%
1,000	1,910.79	7.62%
1,500	2,202.60	8.78%



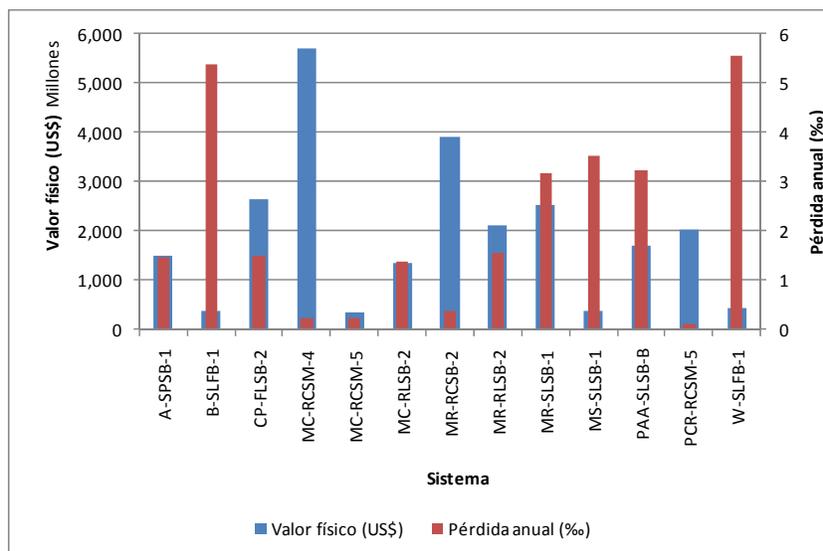
**Figura 7-6**

**Resultados análisis**

(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

**Tabla 7-5**  
**Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)**

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual esperada	
	[US\$ millones]	[%]	[US\$ millones]	[‰]
A-SPSB-1	1,507.61	6.01%	2.23	1.48‰
B-SLFB-1	388.81	1.55%	2.09	5.38‰
CP-FLSB-2	2,656.43	10.59%	3.97	1.50‰
MC-RCSM-4	5,708.16	22.75%	1.27	0.22‰
MC-RCSM-5	338.76	1.35%	0.08	0.24‰
MC-RLSB-2	1,352.65	5.39%	1.88	1.39‰
MR-RCSB-2	3,908.41	15.58%	1.48	0.38‰
MR-RLSB-2	2,120.45	8.45%	3.32	1.57‰
MR-SLSB-1	2,540.62	10.13%	8.07	3.18‰
MS-SLSB-1	391.85	1.56%	1.38	3.51‰
PAA-SLSB-B	1,699.91	6.78%	5.51	3.24‰
PCR-RCSM-5	2,040.07	8.13%	0.26	0.13‰
W-SLFB-1	434.29	1.73%	2.42	5.57‰
<b>TOTAL</b>	<b>25,088.01</b>	<b>100.00%</b>	<b>33.96</b>	<b>1.35‰</b>



**Figura 7-7**  
**Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural**

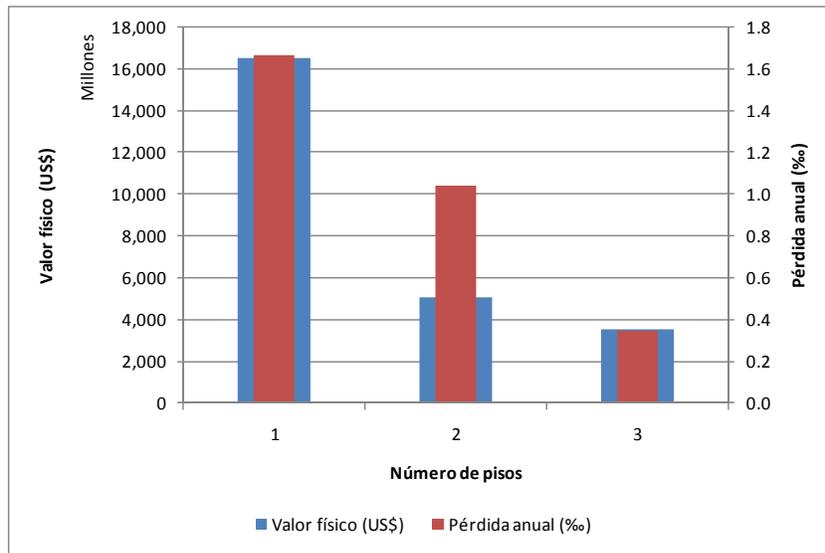


Figura 7-8

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por número de pisos

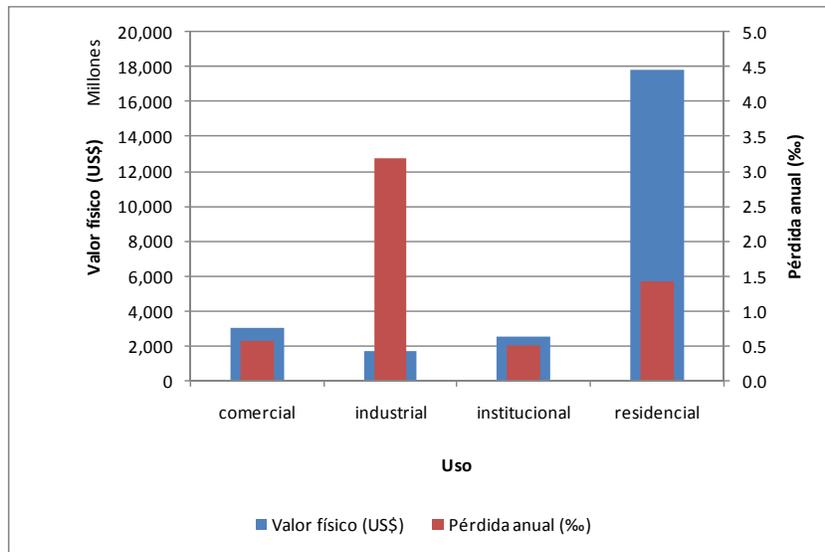


Figura 7-9

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

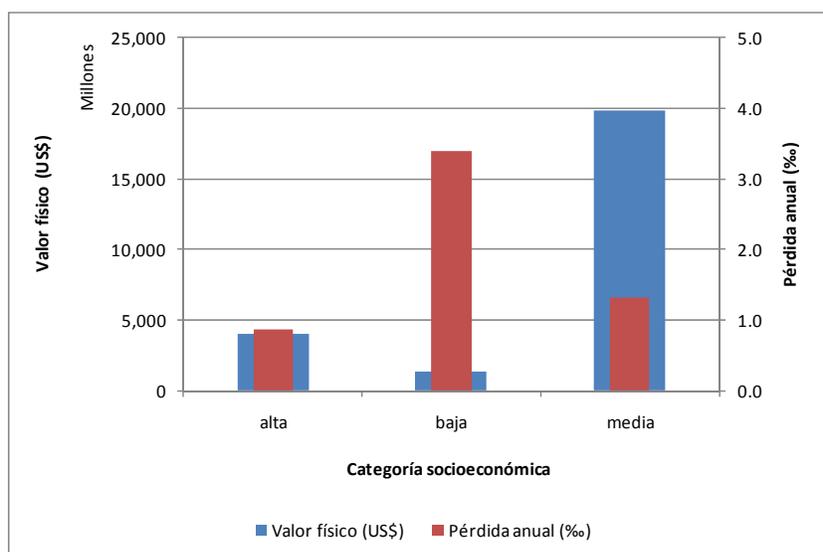


Figura 7-10

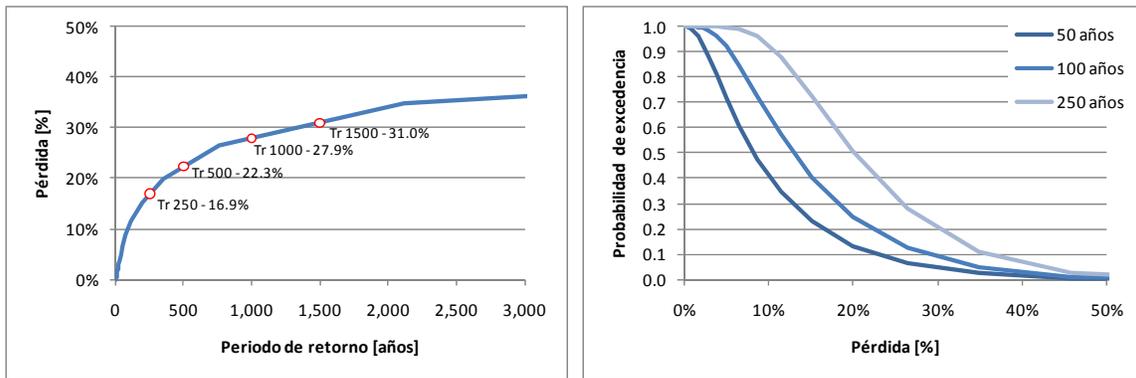
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica

### 7.1.3 Resultados agrupados

A continuación se presentan los resultados para todas las temporalidades analizadas de manera probabilista, en forma conjunta.

Tabla 7-6  
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	25,088.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	125.46
	‰	5.00‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
250	4,233.22	16.87%
500	5,597.23	22.31%
1,000	6,995.82	27.89%
1,500	7,770.95	30.97%

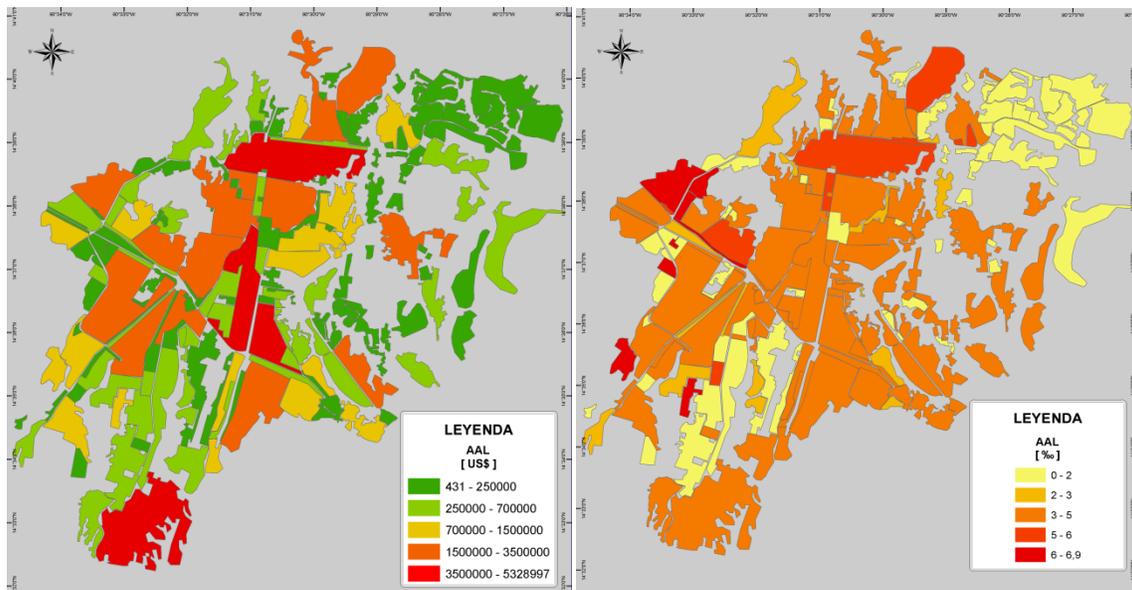


**Figura 7-11**  
**Resultados análisis**

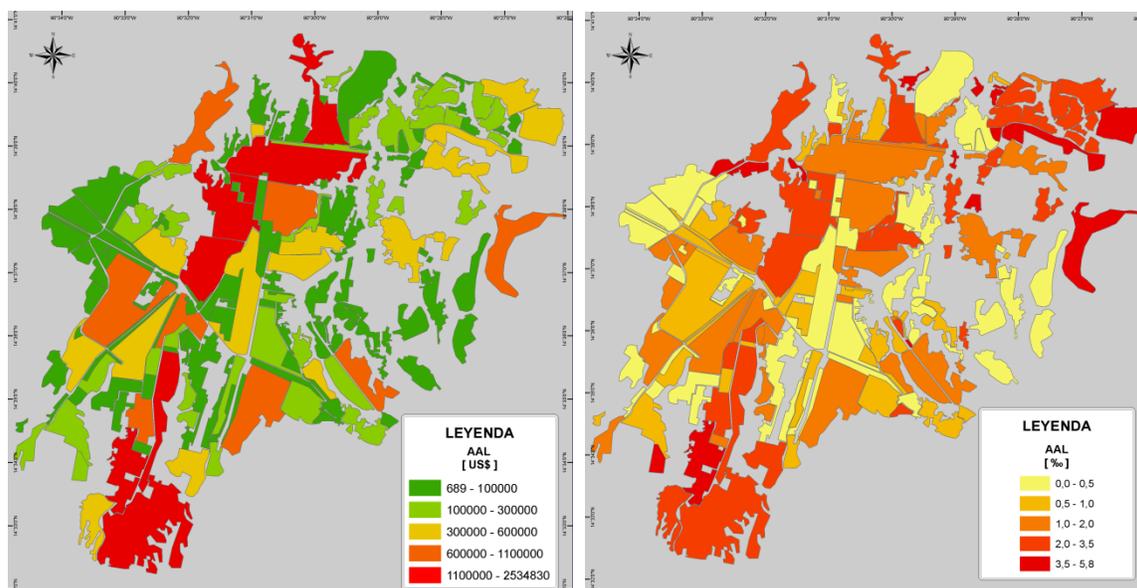
(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

### 7.1.4 Mapas de riesgo

La información anterior se puede visualizar mediante mapas de riesgo. La Figura 7-12 presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada por zona homogénea para terremoto. Los resultados se presentan al millar del valor expuesto y en valor económico. La Figura 7-13 presentan los resultados equivalentes para vientos huracanados.



**Figura 7-12**  
**Pérdida anual esperada por zona homogénea para terremoto**  
(Izquierda: en valor, US\$; derecha: al millar del valor expuesto)



**Figura 7-13**

*Pérdida anual esperada por zona homogénea para vientos huracanados  
(Izquierda: en valor, US\$; derecha: al millar del valor expuesto)*

## 7.2 Análisis determinista del riesgo por deslizamiento

La estimación del escenario de amenaza determinista y la simulación de las pérdidas esperadas que se derivan del evento seleccionado se llevaron a cabo utilizando las herramientas de evaluación de amenaza y riesgo de CAPRA GIS (ver [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org)). Esta plataforma permite realizar evaluaciones de amenaza, la asignación de las curvas de vulnerabilidad y el cálculo de riesgo para una base de exposición determinada. Los resultados se condensan en una serie de tablas y figuras que dan cuenta de la distribución general y espacial de las pérdidas económicas.

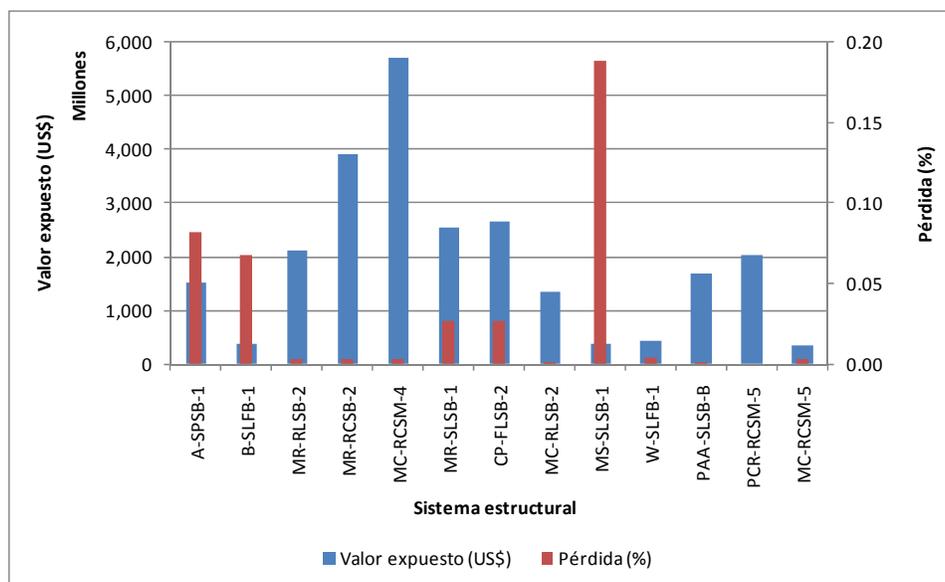
La Tabla 7-7 resume los resultados encontrados para el escenario seleccionado de deslizamiento inducido por sismo, en términos de pérdidas económicas con respecto a los valores expuestos correspondientes. Por otra parte, la Tabla 7-8 resume los resultados encontrados para cada sistema estructural identificado.

**Tabla 7-7**  
*Valor expuesto y pérdida económica*

Resultados		
Exposición	Física	
Valor Expuesto	US\$	\$ 25,088,009,026
Pérdida Económica	US\$	\$ 4,055,200
	%	0.02

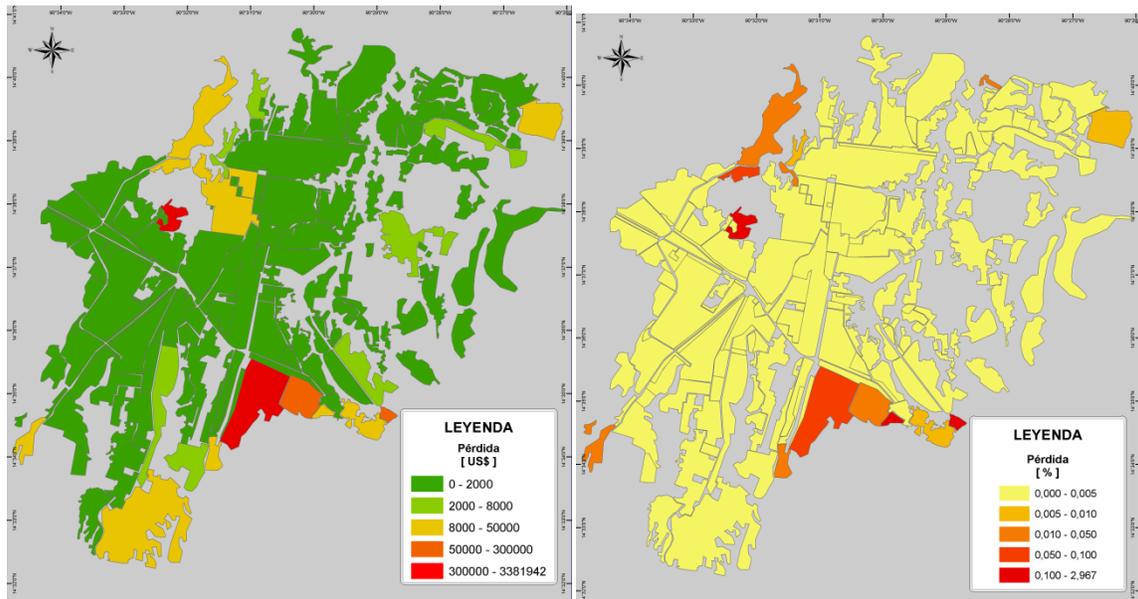
**Tabla 7-8**  
**Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida esperada)**

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida esperada		
	[US\$]	[%]	[US\$]	[% de la pérdida]	[% del valor expuesto]
A-SPSB-1	1,507,611,344	6.01	1,240,488	30.59	0.08
B-SLFB-1	388,810,533	1.55	262,243	6.47	0.07
MR-RLSB-2	2,120,446,212	8.45	58,387	1.44	0.00
MR-RCSB-2	3,908,412,749	15.58	133,161	3.28	0.00
MC-RCSM-4	5,708,163,169	22.75	189,076	4.66	0.00
MR-SLSB-1	2,540,617,093	10.13	679,135	16.75	0.03
CP-FLSB-2	2,656,427,517	10.59	717,640	17.70	0.03
MC-RLSB-2	1,352,649,587	5.39	2,482	0.06	0.00
MS-SLSB-1	391,849,367	1.56	738,020	18.20	0.19
W-SLFB-1	434,286,442	1.73	17,618	0.43	0.00
PAA-SLSB-B	1,699,907,917	6.78	7,230	0.18	0.00
PCR-RCSM-5	2,040,069,488	8.13	0	0.00	0.00
MC-RCSM-5	338,757,608	1.35	9,722	0.24	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>25,088,009,026</b>	<b>100</b>	<b>4,055,200</b>	<b>100</b>	<b>0.02</b>



**Figura 7-14**  
**Pérdida esperada por sistema estructural**

Los anteriores resultados se pueden visualizar mediante mapas que ilustran la distribución geográfica de pérdidas. La Figura 7-15 presenta la distribución geográfica de pérdidas esperadas en porcentaje y en valor monetario para el escenario seleccionado de deslizamiento.



**Figura 7-15**  
*Pérdida esperada por predio para el escenario seleccionado*  
*(Izquierda: en valor, US\$; derecha: porcentaje del valor expuesto)*

## 8 Conclusiones y Recomendaciones

---

El análisis de riesgo por sismo, huracán, deslizamiento y volcán presentado para la Ciudad de Guatemala – Guatemala debe verse como una plataforma inicial que permite la cuantificación y calificación del riesgo en la ciudad en cualquier instante de tiempo (según la mejor información disponible) y que debe servir de base para que mediante la complementación paulatina de la información se convierta en el corto plazo en una evaluación integral de riesgo para efectos de toma de decisiones.

La amenaza que controla el riesgo en la ciudad es la asociada a eventos sísmicos. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 5'594'080.000, lo que equivale al 8.1% del PIB del país y al 22.2% del valor total expuesto; una cifra considerablemente alta y más teniendo en cuentas las consecuencias a futuro que una para en la economía del país existirían al interrumpir por un considerable lapso de tiempo el motor económico nacional.

La prima pura de riesgo global calculada para la ciudad se considera moderada (5.00%), presentando un gran aporte en pérdida por efecto de los terremotos (prima pura de 3.65%), debido principalmente a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad de las construcciones.

La prima pura por viento huracanado tiene un valor bajo (1.35%), en comparación a la calculada para terremoto. No obstante, debe ser considerada dentro de la estrategia de gestión particular que adopte la ciudad, dado que aporta un componente importante de las pérdidas futuras. Esto se refleja en los valores obtenidos de PML, donde, para 1000 años de periodo de retorno, la pérdida esperada corresponde al 7.62% del total del valor expuesto.

La pérdida asociada al escenario de deslizamiento es baja (0.02% del valor expuesto de la ciudad). Es importante tener en cuenta que este resultado corresponde a una evaluación determinista bajo condiciones consideradas como las más críticas para la población. A medida que la información lo permita, el análisis puede ampliarse al campo probabilista, de manera que los resultados sean comparables con los obtenidos por efecto de las demás amenazas consideradas.

A continuación se dejan explícitas las limitaciones en la información utilizada para los análisis, lo cual debe servir de base para los planes de trabajos y estudios futuros por parte de la ciudad con miras a mejorar la calidad y confiabilidad de estos resultados preliminares presentados.

- (a) Información de amenaza sísmica: se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis. Es posible complementarla con consideraciones de efectos de sitio, especialmente en lo que se refiere a licuación de suelos granulares finos. Complementariamente es importante mantener un catálogo

sismológico actualizado y con mejor información para efectos de calibración y ajuste de los modelos.

- (b) Información de amenaza por viento huracanado: se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis. El costo y tiempo requerido para mejorar este tipo de información es muy alto y requiere sobre todo de la disponibilidad de más y mejor información. Resulta de la mayor importancia mantener el catálogo de eventos actualizado y con mejor información para efectos de calibración y ajuste de los modelos.
- (c) Información de amenaza deslizamientos: es susceptible de mejorar en forma significativa, especialmente lo relacionado con la altimetría detallada de la zona. También es muy importante mantener actualizado el catálogo de eventos pasados con la mayor cantidad de información relacionada con efectos, daños e impactos producidos.
- (d) Información de exposición: debe recurrirse a la base catastral de la población. El modelo utilizado en el presente análisis solo sirve con propósitos ilustrativos e indicativos de valores globales a esperar. Para efectos de resultados para toma de decisiones debe contarse con la base catastral de la ciudad y con índices oficiales de ocupación y costos. Alternativamente deben plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo.
- (e) Las funciones de vulnerabilidad deben revisarse y evaluarse en un plan en el mediano plazo, mediante la vinculación de universidades y centros de investigación. Estos trabajos deben basarse en modelaciones analíticas y experimentales de los tipos constructivos típicos de la ciudad y en observaciones del comportamiento de tipos constructivos característicos ante eventos determinados.
- (f) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones debe realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

Los resultados presentados anteriormente dependen directamente de la calidad y tipo de información suministrada al modelo. Entre más detallada y confiable sea la información, menor será la incertidumbre asociada a los resultados y por lo tanto el proceso de toma de decisiones podrá realizarse con mayor nivel de confianza.

En particular se hace especial énfasis en actualizar la información referente a:

- Inventario de construcciones expuestas incluyendo sus características principales.
- Valoración de activos, sus contenidos y posibles pérdidas consecuenciales.
- Identificación de tipos estructurales dominantes y distribución dentro de la ciudad.
- Categorización de tipos de contenidos, calificación y valoración.

- Calificación de la vulnerabilidad estructural y humana ante las diferentes fuentes de amenaza.
- Inventario, valoración y calificación de toda la infraestructura complementaria expuesta incluyendo vías, puentes, infraestructura de servicios públicos, instalaciones industriales importantes, plantas de generación de energía, aeropuertos y en general toda la infraestructura expuesta relevante del país.

Mediante una información más detallada especialmente de infraestructura expuesta el sistema CAPRA permitiría realizar las siguientes evaluaciones complementarias:

- (a) Identificación de infraestructura crítica para la ciudad en términos de peligrosidad, valor expuesto, ocupación humana y otros criterios. Esto con el fin de priorizar inversión pública en recuperación o modernización de elementos claves para el desarrollo.
- (b) Evaluación del riesgo por sectores incluyendo residencial, industrial, comercial, salud, educación, públicos y otros.
- (c) Requerimientos de reforzamiento de activos públicos, especialmente edificaciones indispensables y de atención a la comunidad.
- (d) Estimación del riesgo de activos privados para estratos bajos, medios y altos con fines de protección financiera y concientización del riesgo.
- (e) Análisis de vulnerabilidad y requerimiento de reforzamiento para mitigación de impactos de los sistemas de servicios públicos que puedan verse afectados por los fenómenos que se analizan.
- (f) Requerimientos especiales para los planes de ordenamiento territorial, definición de zonas de alto riesgo, restricciones susceptibles de inundación o deslizamiento, reubicación de vivienda so edificaciones indispensables y otras.

Finalmente, un análisis más detallado de la información que se presenta en este documento sirve de base para realizar una serie de análisis complementarios para efectos de los planes y preparativos de emergencia de la ciudad, incluyendo los siguientes:

- (a) Sector salud: requerimientos de atención médica para heridos, centros de atención de emergencia, ubicación, requerimientos de servicios públicos, personal médico, ambulancias, organización del tema de víctimas mortales.
- (b) Seguridad: requerimientos de seguridad en los instantes y días posteriores al evento en cuanto a organización de la fuerza pública. Posibilidad de problemas sociales por falta de alimentos o de servicios.
- (c) Atención de la emergencia: planeación de las diferentes acciones posteriores a la ocurrencia del desastre tales como reconocimiento, identificación y clausura de

edificaciones afectadas, demoliciones, avisos a la población, cuadrillas de rescate, manejo de donaciones, suministros de alimentación, viviendas temporales, manejo de residuos, disponibilidad de maquinaria, etc.

- (d) Requerimientos de viviendas temporales, campamentos, comida, víveres, suministros, atención médica post-emergencia, etc. Problemática de la vivienda de interés social.
- (e) Problemática de personas sin empleo o lugar de trabajo según zonas, requerimientos inmediatos, afectación de la producción, efectos a largo plazo, medidas de mitigación de impactos.
- (f) Planes de contingencia para los diferentes sectores de servicios públicos y sociales incluyendo suministro de agua, energía, gas, transporte público, generación de energía, telecomunicaciones y otras.
- (g) Pérdidas económicas esperadas, efectos en el mediano y largo plazo en las finanzas públicas, necesidades de mecanismos de transferencia del riesgo, planes de aseguramiento, proyección hacia el futuro.

El análisis de riesgo con las herramientas indicadas se convierte por lo tanto en un elemento fundamental en la gestión integral del riesgo, factor clave para el desarrollo económico y social. El proceso exige la participación activa de entidades públicas, Universidades, sector privado y de la comunidad en general relacionada con esta temática.

## 9 Referencias

---

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gob.gt>

Ciudad de Guatemala, Guatemala, Wikipedia

[http://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad\\_de\\_Guatemala](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_de_Guatemala)

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelos de Evaluación de Amenazas. Informe ERN-CAPRA-T1.2. <http://www.ecapra.org>. 2010.

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1.3. <http://www.ecapra.org>. 2010.

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.

Terremotos en Guatemala, Wikipedia

[http://es.wikipedia.org/wiki/Terremotos\\_en\\_Guatemala](http://es.wikipedia.org/wiki/Terremotos_en_Guatemala)

HAZUS MH MR3. Multi-hazard loss estimation methodology. FEMA. <http://www.fema.gov>

Hurricane Felix, Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane\\_Felix](http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Felix)

Hurricane Joan, Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane\\_Joan](http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Joan)

Huracán Hattie-Simone, Wikipedia

[http://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n\\_Hattie-Simone](http://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Hattie-Simone)

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/>