

# **CAPRA**

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

## **EL SALVADOR**

**TAREA III**  
**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE**

**INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T3.3**  
**PERFIL DE RIESGO CATASTRÓFICO, MAPAS**  
**DE RIESGO Y ANÁLISIS DE**  
**CONCENTRACIÓN DEL RIESGO**





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

**Consortio de consultores:**

**Colombia**

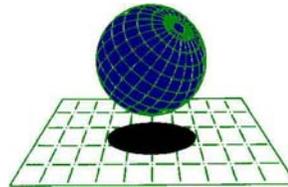
Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

**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 Trstancho**  
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

# Tabla de contenido

---

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>Metodología y alcances .....</b>	<b>2-1</b>
<b>3</b>	<b>Riesgo catastrófico por terremoto.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Amenaza sísmica .....	3-1
3.2	Inventario de activos del país .....	3-1
3.3	Vulnerabilidad sísmica de activos .....	3-1
3.3.1	Aspectos generales .....	3-1
3.3.2	Funciones de vulnerabilidad sísmica.....	3-2
3.3.3	Funciones de vulnerabilidad para los elementos expuestos.....	3-2
3.4	Evaluación del riesgo sísmico.....	3-5
3.4.1	Aspectos generales .....	3-5
3.4.2	Pérdidas totales a nivel país .....	3-6
3.5	Concentración del Riesgo Sísmico.....	3-9
3.5.1	Comparación de pérdidas por departamento.....	3-9
3.5.2	Comparación de pérdidas por sector.....	3-15
3.5.3	Pérdida máxima probable para sectores público y privado .....	3-17
3.5.4	Pérdida máxima probable para la infraestructura nacional .....	3-18
<b>4</b>	<b>Riesgo catastrófico por huracán.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Amenaza por huracán.....	4-1
4.2	Inventario de activos del país .....	4-1
4.3	Vulnerabilidad de Activos Frente al Viento .....	4-1
4.3.1	Aspectos generales .....	4-1
4.3.2	Funciones de vulnerabilidad ante la acción del viento .....	4-2
4.3.3	Funciones de vulnerabilidad para los elementos expuestos.....	4-2
4.4	Evaluación del riesgo por huracanes .....	4-4
4.4.1	Aspectos generales .....	4-4
4.4.2	Pérdidas totales a nivel de país.....	4-4
4.5	Concentración del Riesgo por Huracanes.....	4-7
4.5.1	Comparación de pérdidas por departamento.....	4-7
4.5.2	Comparación de pérdidas por sector.....	4-13
4.5.3	Pérdida máxima probable para sectores público y privado .....	4-15
4.5.4	Pérdida máxima probable para la infraestructura nacional .....	4-16
<b>5</b>	<b>Comparación de resultados de riesgo.....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Pérdida anual esperada y pérdida máxima probable .....	5-1
5.2	Pérdida Anual Esperada por Departamento .....	5-1
5.3	Pérdida Anual Esperada por Sector .....	5-2

5.4	Pérdida Anual Esperada por Sectores Público y Privado .....	5-2
5.5	Pérdida Máxima Probable por Departamento .....	5-3
6	Referencias .....	6-1

# Índice de figuras

---

FIGURA 2-1 ESQUEMA GENERAL DEL ANÁLISIS DE RIESGO PROBABILISTA .....	2-2
FIGURA 3-1 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD (FUNCIÓN DE LA DERIVA) PARA TERREMOTO.....	3-4
FIGURA 3-2 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD (FUNCIÓN DE ACELERACIÓN ESPECTRAL) PARA TERREMOTO .....	3-4
FIGURA 3-3 EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS POR TERREMOTO.....	3-7
FIGURA 3-4 CURVA DE PML POR TERREMOTO .....	3-7
FIGURA 3-5 CURVAS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE DIFERENTES VALORES DE PML, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EXPOSICIÓN, PARA TERREMOTO.....	3-8
FIGURA 3-6 VALORES EXPUESTOS POR DEPARTAMENTO .....	3-9
FIGURA 3-7 EJEMPLO DE RESULTADOS POR TERREMOTO PARA SAN SALVADOR .....	3-10
FIGURA 3-8 VALORES DE PML POR TERREMOTO Y PARA VARIOS PERIODOS DE RETORNO EN CADA DEPARTAMENTO.....	3-11
FIGURA 3-9 VALORES DE AAL POR TERREMOTO Y POR DEPARTAMENTO.....	3-11
FIGURA 3-10 VALORES DE AAL POR TERREMOTO Y POR DEPARTAMENTO DESGLOSADA POR SECTORES	3-12
FIGURA 3-11 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE AAL (VALOR) POR TERREMOTO POR MUNICIPIO.....	3-13
FIGURA 3-12 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE AAL (%) POR TERREMOTO Y POR MUNICIPIO.....	3-13
FIGURA 3-13 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE PML (VALOR) POR TERREMOTO Y POR DEPARTAMENTO..	3-14
FIGURA 3-14 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE PML (%) POR TERREMOTO Y POR DEPARTAMENTO.....	3-14
FIGURA 3-15 VALORES EXPUESTOS POR USO .....	3-15
FIGURA 3-16 VALORES DE AAL POR TERREMOTO Y POR SECTORES .....	3-16
FIGURA 3-17 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AAL POR TERREMOTO Y POR SECTORES .....	3-16
FIGURA 3-18 VALORES EXPUESTOS POR SECTORES.....	3-17
FIGURA 3-19 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO Y PARA CONSTRUCCIONES PÚBLICAS.....	3-18
FIGURA 3-20 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO Y PARA CONSTRUCCIONES PRIVADAS .....	3-18
FIGURA 3-21 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO PARA EL SECTOR ENERGÍA.....	3-19
FIGURA 3-22 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO PARA EL SECTOR COMUNICACIONES.....	3-19
FIGURA 3-23 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO PARA EL SECTOR TRANSPORTE .....	3-20
FIGURA 3-24 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS.....	3-20
FIGURA 4-1 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA VIENTO HURACANADO .....	4-3
FIGURA 4-2 EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS POR VIENTO HURACANADO .....	4-5
FIGURA 4-3 CURVA DE PML POR VIENTOS HURACANADOS.....	4-5
FIGURA 4-4 CURVAS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE DIFERENTES VALORES DE PML, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EXPOSICIÓN POR VIENTOS HURACANADOS .....	4-6
FIGURA 4-5 VALORES EXPUESTOS POR DEPARTAMENTO .....	4-7
FIGURA 4-6 EJEMPLO DE RESULTADOS POR VIENTO PARA SAN SALVADOR.....	4-8
FIGURA 4-7 VALORES DE PML POR VIENTO Y PARA VARIOS PERIODOS DE RETORNO EN CADA DEPARTAMENTO.....	4-9
FIGURA 4-8 VALORES DE AAL POR VIENTO POR DEPARTAMENTO .....	4-9
FIGURA 4-9 VALORES DE AAL POR VIENTO POR DEPARTAMENTO DESGLOSADO POR SECTORES .....	4-10
FIGURA 4-10 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE AAL (VALOR) POR VIENTO Y POR MUNICIPIO .....	4-11
FIGURA 4-11 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE AAL (%) POR VIENTO Y POR MUNICIPIO .....	4-11
FIGURA 4-12 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE PML (VALOR) POR VIENTO Y POR DEPARTAMENTO .....	4-12
FIGURA 4-13 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE PML (%) POR VIENTO Y POR DEPARTAMENTO .....	4-12

FIGURA 4-14 VALORES EXPUESTOS POR SECTORES.....	4-13
FIGURA 4-15 VALORES DE AAL POR VIENTO Y SECTORES .....	4-14
FIGURA 4-16 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE AAL POR VIENTO Y POR SECTORES.....	4-14
FIGURA 4-17 VALORES EXPUESTOS POR SECTORES.....	4-15
FIGURA 4-18 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR VIENTO PARA CONSTRUCCIONES PÚBLICAS.....	4-16
FIGURA 4-19 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR VIENTO PARA CONSTRUCCIONES PRIVADAS.....	4-16
FIGURA 4-20 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR VIENTO PARA SECTOR ENERGÍA.....	4-17
FIGURA 4-21 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR VIENTO PARA SECTOR COMUNICACIONES.....	4-17
FIGURA 4-22 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR VIENTO PARA SECTOR DE HIDROCARBUROS.....	4-18
FIGURA 5-1 VALORES DE AAL PARA TERREMOTO Y VIENTO PARA CADA UNO DE LOS DEPARTAMENTOS	5-1
FIGURA 5-2 VALORES DE AAL PARA TERREMOTO Y VIENTO HURACANADO PARA LOS DIFERENTES SECTORES .....	5-2
FIGURA 5-3 VALORES DE AAL PARA TERREMOTO Y VIENTO HURACANADO PARA SECTORES PÚBLICO Y PRIVADO .....	5-2
FIGURA 5-4 VALORES DE PML PARA TERREMOTO Y VIENTO HURACANADO POR DEPARTAMENTO.....	5-3

## Índice de tablas

---

TABLA 3-1 TIPOS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD, TIPO ESTRUCTURAL Y PERÍODO DE VIBRACIÓN ...	3-5
TABLA 3-2 RESULTADOS GENERALES DE PML POR TERREMOTO.....	3-6
TABLA 3-3 ESCENARIOS CRÍTICOS DE ANÁLISIS POR TERREMOTO .....	3-8
TABLA 4-1 RESULTADOS GENERALES DE PML PARA VIENTO HURACANADO .....	4-4
TABLA 4-2 GRUPO DE SIMULACIONES DE LOS ESCENARIOS CRÍTICOS DE ANÁLISIS PARA VIENTOS HURACANADOS .....	4-6
TABLA 5-1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE AAL Y PML POR TERREMOTO Y VIENTO HURACANADO.....	5-1

# 1 Introducción

---

Una de las actividades fundamentales de la gestión del riesgo de desastres a nivel de país es la evaluación del riesgo de catástrofe, o de eventos extremos, para lo cual es necesario aplicar metodologías confiables que permitan una adecuada estimación y cuantificación del potencial de pérdidas en un tiempo de exposición determinado. No obstante, aunque se han desarrollado a nivel internacional diversas metodologías para la evaluación detallada del riesgo para diferentes tipos de amenazas naturales, pocas metodologías permiten realizar un análisis a nivel país por dos razones principales: primero, la falta de información detallada que impide la conformación de bases de datos robustas para describir la exposición y, segundo, la falta de metodologías que permitan modelar de manera integrada las amenazas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo que se deriva de su respectiva convolución.

Para alcanzar, entonces, el objetivo general de identificar y cuantificar el riesgo de catástrofe de un país, es necesario utilizar e incluso desarrollar un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya de la manera más completa, y en lo posible detallada, la exposición de los bienes de infraestructura –teniendo en cuenta sus principales características–, que permita tener en cuenta la vulnerabilidad específica de cada componente de dicha infraestructura y que finalmente permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista apropiado que tenga en cuenta las incertidumbres propias de un proceso de este tipo, las inevitables limitaciones en la información y la capacidad cómputo electrónico.

En la mayoría de los casos es necesario utilizar ciertos enfoques o criterios de simplificación y agregación de información, debido a la ausencia de datos o a la inherente baja resolución de la información. Esta circunstancia en ocasiones significa sacrificar algunas características técnico-científicas o econométricas, como la exactitud y la completitud, consideradas en general como deseables e incluso como ineludibles cuando de riesgo se trata.

Este informe presenta la evaluación del riesgo catastrófico para El Salvador, para amenaza por huracán y terremoto. La metodología probabilista utilizada es considerada la más robusta para este tipo de modelación e identifica los aspectos más importantes del riesgo de catástrofe con fines de protección financiera de acuerdo con la responsabilidad fiscal del Estado. Adicionalmente, los resultados del análisis pueden ser de especial utilidad para orientar las prioridades del país en materia de gestión del riesgo de desastres en general. Los fundamentos metodológicos y técnicos de esta evaluación del riesgo pueden ser consultados en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos, ERN 2010), y en el sitio Wiki de CAPRA [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

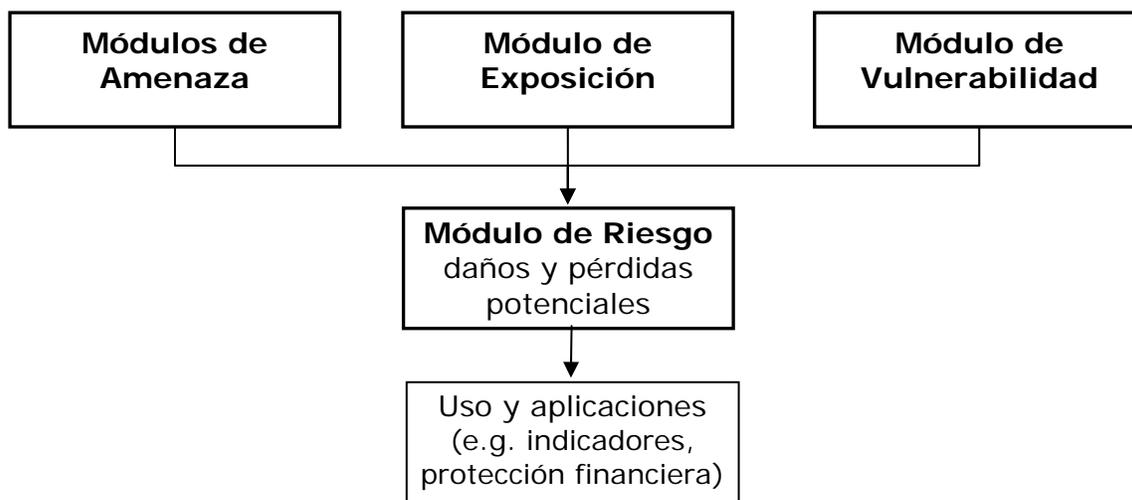
## 2 Metodología y alcances

---

La frecuencia de eventos catastróficos es particularmente baja por lo cual la información histórica, en general, es muy limitada. Considerando las posibilidades de eventos de alta capacidad destructiva en el futuro, la estimación del riesgo debe enfocarse en modelos probabilistas los cuales pueden utilizar la limitada información histórica disponible para pronosticar, de la mejor manera posible, las consecuencias de futuros eventos considerando en forma simultánea las inevitables altas incertidumbres involucradas en los análisis.

Un país puede sufrir las consecuencias de diferentes tipos de eventos naturales; sin embargo, para efectos de esta evaluación se han tenido en cuenta únicamente la amenaza de terremoto y la amenaza por huracán, cuando es relevante. Sin desconocer los otros tipos de amenaza que pueden también generar eventos devastadores, el presente análisis se concentra en las amenazas que han demostrado en el pasado que pueden generar eventos críticos y que en la mayoría de los casos contienen o serían superiores las pérdidas comparativamente a las que causan otros fenómenos más puntuales o de los que hay pocas indicios de que puedan ocurrir.

La estimación del riesgo debe ser prospectiva, anticipando eventos científicamente posibles que pueden ocurrir en el futuro. Para el caso de eventos sísmicos se utilizan bases sismológicas e ingenieriles, para desarrollar modelos de pronóstico de terremotos que permitan la estimación de daños, pérdidas y efectos de los terremotos como resultado de eventos catastróficos. Para el caso de huracanes se utiliza la información hidrometeorológica disponible de los huracanes históricos que han afectado la zona de estudio y conjuntamente con metodologías ingenieriles se estiman los efectos de estos fenómenos sobre los activos expuestos. Debido a las altas incertidumbres inherentes a los modelos de análisis con respecto a la severidad y a la frecuencia de ocurrencia de los eventos, el modelo de riesgo se basa en formulaciones probabilistas que incorporan dicha incertidumbre en la evaluación del riesgo. El modelo de riesgo probabilista (MRP), construido a partir de una secuencia de módulos, cuantifica las pérdidas potenciales tal como se ilustra en la Figura 2-1.



*Figura 2-1*  
*Esquema general del análisis de riesgo probabilista*

Los módulos de análisis tienen las siguientes funciones específicas:

- **Módulo de amenazas:** Este módulo permite calcular la amenaza asociada a todos los eventos factibles que podrían ocurrir, a un grupo de eventos seleccionados, o incluso, a un solo evento relevante. Para cada tipo de fenómeno natural, usando este módulo, es posible calcular el valor máximo probable de la intensidad que lo caracteriza para diferentes tasas de ocurrencia o períodos de retorno. En este módulo se produce, para cada tipo de amenaza, un archivo tipo AME (.ame de amenaza), en el cual se incluyen múltiples mallas o retículas, sobre el territorio estudiado, de los diferentes parámetros de intensidad de los fenómenos considerados. Cada malla es un escenario del nivel de intensidad alcanzado por eventos históricos o eventos generados en forma estocástica, con sus respectivas frecuencias de ocurrencia. Para este caso el parámetro de intensidad sísmica seleccionado es la aceleración espectral. En el caso de huracanes, se ha utilizado la velocidad máxima de viento.
- **Módulo de exposición:** Este módulo da cuenta de la descripción de los elementos o activos expuestos que pueden ser afectados. Se basa en archivos en formato tipo *shape* que corresponden a la infraestructura expuesta que va a ser incluida en el análisis de riesgo. La información requerida para estos archivos es la siguiente:
  - Identificación
  - Localización
  - Valor expuesto
  - Función de vulnerabilidad asociada a cada tipo de amenaza

En este caso el módulo de exposición se ha desarrollado con base en un modelo *proxy* o descripción simplificada y agregada de los activos expuestos.

- Módulo de vulnerabilidad: Este módulo permite la generación de funciones de vulnerabilidad con base en la modificación o utilización directa de funciones ya existentes que se seleccionan a partir de una librería de funciones, o mediante la generación de nuevas funciones a partir de información específica de la clase de estructura que tiene para resistir o hacer frente al fenómeno cada activo o elemento expuesto considerado. La asignación de la función de vulnerabilidad a cada uno de los elementos expuestos se realiza sobre el archivo en el formato *shape* procesado en el módulo de exposición.
- Módulo de riesgo: Este módulo realiza la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de evaluar el riesgo o las consecuencias o efectos potenciales. El riesgo puede expresarse en términos de daño o efectos físicos, pérdida económica absoluta o relativa y/o efectos sobre la población.

Una vez estimado el daño físico esperado (valor potencial promedio y su dispersión) en porcentaje para cada uno de los activos o componentes de infraestructura incluidos en el análisis, es posible realizar estimativos de diferentes parámetros o métricas útiles para el análisis propuesto resultado de obtener la curva de probabilidad de excedencia de pérdidas (LEC o Loss Exceedance Curve en inglés). Este estudio se concentra, entonces, en la evaluación del riesgo del país (en general, por unidades geográficas y por sectores) debido a la amenaza sísmica y de huracanes, utilizando como medida la Pérdida Máxima Probable (PML o Probable Maximum Loss en inglés) para diferentes periodos de retorno y la Pérdida Anual Esperada (AAL o Average Annual Loss en inglés) o prima técnica de riesgo. Con base en estos resultados, se estima el riesgo específico a nivel de país y la concentración del riesgo y se pueden calcular los indicadores de pasivos contingentes (como son las figuras que actualmente se utilizan del Índice de Déficit por Desastre, IDD e IDD'). Los valores de PML y AAL son los principales resultados de este informe. Estas medidas o métricas son de especial importancia para el futuro diseño de instrumentos de retención (financieros) o transferencia de riesgo, y por lo tanto serán un aporte de especial valor para definir con estudios complementarios una estrategia de protección financiera para cubrir la responsabilidad fiscal del Estado.

## **3 Riesgo catastrófico por terremoto**

---

### **3.1 Amenaza sísmica**

La amenaza sísmica de El Salvador es evaluada para la totalidad de las fuentes sísmicas capaces de generar terremotos con posibles efectos adversos sobre la infraestructura y población. La evaluación de la amenaza se encuentra en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010), y en el sitio Wiki de CAPRA [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### **3.2 Inventario de activos del país**

El inventario de elementos expuestos corresponde al presentado en el informe ERN-CAPRA-T2.1 (Caracterización, Clasificación y Valoración de Elementos Expuestos, ERN2010), disponible también en el sitio wiki de CAPRA [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### **3.3 Vulnerabilidad sísmica de activos**

#### **3.3.1 Aspectos generales**

La vulnerabilidad sísmica es la relación entre cualquier medida de intensidad del fenómeno (aceleración, velocidad, desplazamiento o cualquier otra; la que mejor correlación presente) y el nivel de daño en el elemento físico expuesto a dicha intensidad sísmica. Por ejemplo para el caso de construcciones típicas de edificios de varios pisos, la intensidad sísmica que mejor se correlaciona con los daños esperados es la deriva o distorsión angular de entrepisos (relacionada con la deformación de la estructura ante las fuerzas sísmicas). Para otro tipo de construcciones como edificaciones menores en mampostería o adobe, se utiliza principalmente la aceleración máxima del terreno como parámetro de correlación con el daño. En otros casos como los sistemas de tuberías enterradas, resulta más conveniente utilizar como parámetro de intensidad la velocidad máxima del terreno.

El procedimiento para la calificación de la vulnerabilidad sísmica de los diferentes elementos expuestos es el siguiente:

- (a) Tipificación de los tipos constructivos más representativos o predominantes en el conjunto de elementos expuestos, con base en la información existente y las opiniones y criterios aportados a nivel local.
- (b) Cálculo de las funciones de vulnerabilidad de los tipos constructivos característicos. Para este efecto se desarrollaron algunos modelos analíticos o se utilizaron algunas funciones aplicables ya publicadas según experiencias nacionales e internacionales previas.
- (c) Conformación de la base de datos de las construcciones y elementos principales que representan el inventario de activos de la nación.

- (d) Asignación de un tipo constructivo característico a cada uno de los elementos que conforman el inventario de activos expuestos y asignación de la función de vulnerabilidad correspondiente.

Una vez caracterizada la vulnerabilidad de cada uno de los elementos, se realiza el análisis de riesgo frente a la amenaza sísmica.

A continuación se presenta una descripción del tipo de funciones de vulnerabilidad que se utilizaron para diferentes elementos expuestos. Estas curvas están basadas en el comportamiento de componentes típicos equivalentes, obtenido de estudios previos o de análisis específicos de las condiciones de diseño y construcción de los elementos modelados.

### 3.3.2 Funciones de vulnerabilidad sísmica

Las edificaciones típicas de varios pisos incluyen construcciones de varios sistemas estructurales como son pórticos resistentes a momentos, sistemas combinados o duales, sistemas de edificaciones con muros estructurales, sistemas prefabricados y otros en general comparten la característica de que el daño principal que se puede llegar a presentar depende principalmente de la deformación relativa piso a piso. Las funciones de vulnerabilidad para estos tipos constructivos se representan gráficamente como *el porcentaje de daño vs. deriva máxima de entrepiso de la edificación*.

Por otro lado, para sistemas constructivos tales como sistemas de muros estructurales de mampostería, construcciones menores en adobe, tapia y materiales locales, así como estructuras aisladas tales como muros de contención, tanques y similares, las funciones de vulnerabilidad que correlacionan de mejor manera son las basadas en parámetros como la aceleración máxima del terreno. En este caso las funciones de vulnerabilidad se representan de mejor manera como *el porcentaje de daño vs. aceleración espectral máxima de la edificación*.

La generación de funciones de vulnerabilidad se realiza en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2010), con base en la información disponible en <http://www.ecapra.org/es/> (wiki - vulnerabilidad).

### 3.3.3 Funciones de vulnerabilidad para los elementos expuestos

El análisis requiere funciones de vulnerabilidad para cada uno de los tipos de elementos que componen el inventario de activos del país. Los tipos de elementos son los siguientes:

#### Construcciones urbanas y rurales típicas

- (a) Residencial PB: capacidad económica baja (Res PB)
- (b) Residencial PM: capacidad económica media (Res PM)

- (c) Residencial PA: capacidad económica alta (Res PA)
- (d) Comercial
- (e) Industrial (estructuras con una gran área construida)
- (f) Salud privada
- (g) Educación privada
- (h) Salud pública
- (i) Educación pública
- (j) Gubernamentales

Infraestructura urbana

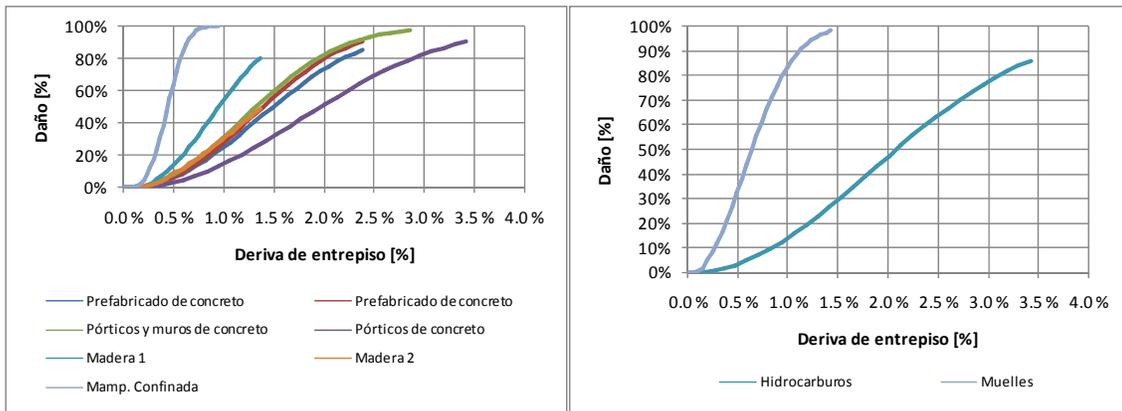
- (a) Subestaciones de energía más redes anexas
- (b) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (c) Presas, tanques y plantas de acueducto y alcantarillado
- (d) Redes de acueducto, alcantarillado
- (e) Redes de gas
- (f) Aeropuertos
- (g) Puertos
- (h) Puentes urbanos

Infraestructura nacional

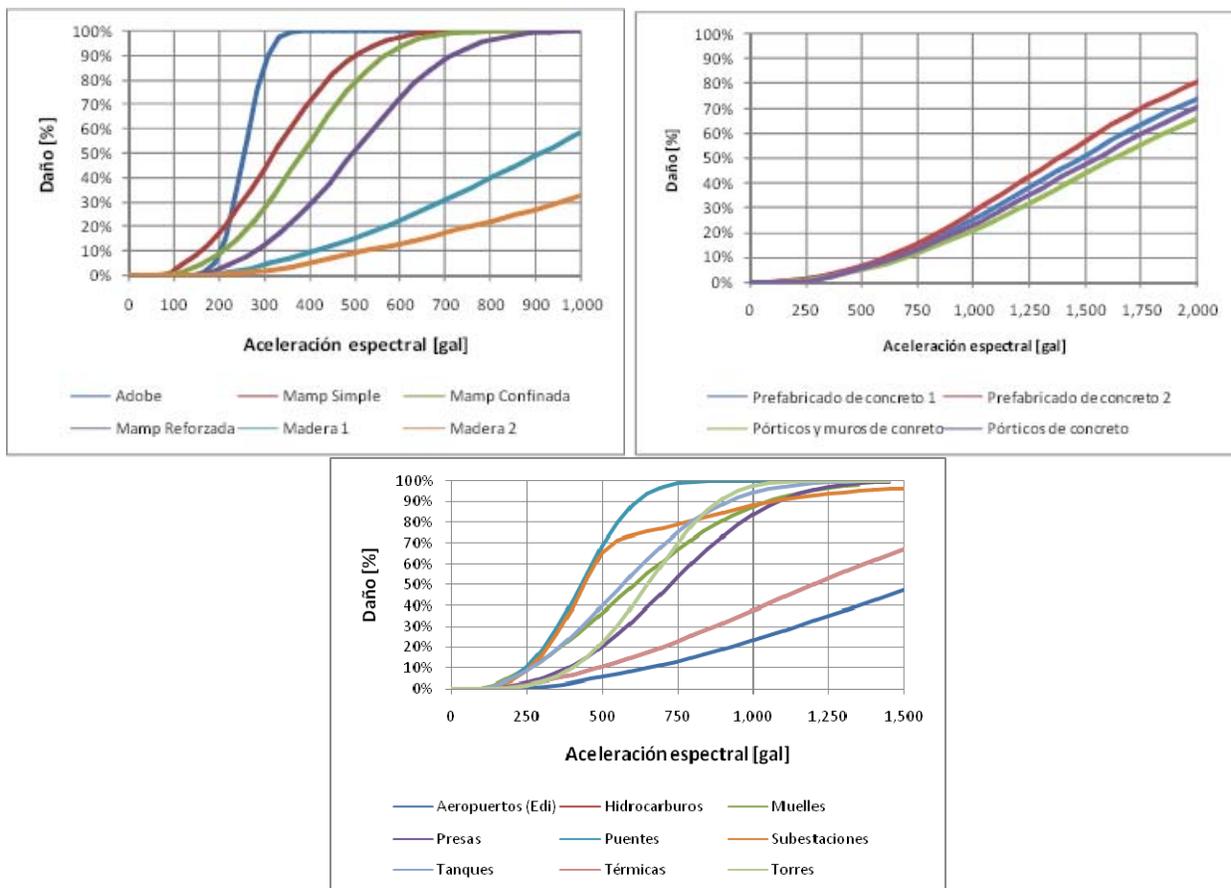
- (a) Vías Red primaria (vías y puentes)
- (b) Vías Red secundaria (vías y puentes)
- (c) Hidroeléctricas (presas y casas de máquinas)
- (d) Plantas térmicas y geotérmicas
- (e) Subestaciones de energía más redes anexas
- (f) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (g) Subestaciones de combustible y gas más redes anexas.

Las funciones de vulnerabilidad para cada uno de estos componentes se calculan utilizando el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2010). Las funciones se generan en términos de aceleración espectral o en términos de deriva estructural y luego se uniformizan todas en términos de aceleración espectral tal como se explicó anteriormente. Las curvas se modifican con factores que tienen en cuenta aspectos particulares de los tipos constructivos locales tales como calidad de materiales, estado general de las construcciones, prácticas de diseño y construcción típicas, y en general las características específicas de los tipos estructurales predominantes.

En el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – vulnerabilidad) se presentan las funciones de vulnerabilidad utilizadas para el análisis. La Figura 3-1 presenta funciones en términos de la deriva estructural, mientras que la Figura 3-2 presenta funciones en términos de la aceleración espectral en cada caso.



**Figura 3-1**  
*Funciones de vulnerabilidad (función de la deriva) para terremoto*



**Figura 3-2**  
*Funciones de vulnerabilidad (función de aceleración espectral) para terremoto*

Considerando que cada una de estas funciones está asociada a un tipo estructural característico la Tabla 3-1 resume los periodos estructurales representativos de cada tipo estructural, con base en lo cual se realiza la asignación de la intensidad sísmica correspondiente a utilizar en el análisis.

**Tabla 3-1**  
*Tipos de funciones de vulnerabilidad, tipo estructural y período de vibración*

Función de vulnerabilidad	Periodo representativo
AD - Adobe	$A_{max}$
MD1 – Madera	0.50 seg
MD2 – Madera	0.50 seg
MS1 – Mamp. Simple	$A_{max}$
MS2 – Mamp. Simple	$A_{max}$
MR1 – Mamp. Reforzada	$A_{max}$
MR2 – Mamp. Reforzada	$A_{max}$
PCR – Pórticos de concreto Reforzado	0.75 seg

Función de vulnerabilidad	Periodo representativo
SubEst eléctricas	$A_{max}$
SubEst Comunicaciones	0.75 seg
Presas	$A_{max}$
Plantas y tanques	$A_{max}$
Red Acueducto	$A_{max}$
Red Alcantarillado	$A_{max}$
Red Gas	$A_{max}$
Aeropuertos (Terminal)	0.75 seg
Puertos (Bodegas)	0.75 seg
Puertos (Muelle)	0.50 seg
Puentes Urbanos	0.20 seg

Función de vulnerabilidad	Periodo representativo
Red vial principal (Puentes)	$A_{max}$
Red vial secundaria (Puentes)	$A_{max}$
Hidroeléctricas (Presas)	0.30 seg
Hidroeléctricas (Casas de Maquinas)	0.75 seg
Plantas Térmicas	0.86 seg
Plantas Geotérmicas	0.86 seg
Distribución energética (Subestaciones)	0.10 seg
Distribución energética (Redes)	0.30 seg
Comunicaciones (Líneas Fijas)	0.75 seg
Comunicaciones (Líneas Móviles)	0.75 seg
Hidrocarburos Derivados	0.86 seg
Hidrocarburos (Gas)	0.86 seg

En el vinculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – vulnerabilidad) se presentan las funciones de vulnerabilidad utilizadas en los análisis y la explicación de los diferentes niveles de daño esperado en cada uno de los tipos estructurales característicos.

### 3.4 Evaluación del riesgo sísmico

#### 3.4.1 Aspectos generales

Con base en los modelos de amenaza probabilísticos propuestos y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes, se desarrolla un modelo de análisis de riesgo probabilista para el país.

Tal como se explicó anteriormente, el análisis probabilista del riesgo se plantea con base en una serie de escenarios de amenaza que representan de manera adecuada los efectos de cualquier evento de magnitud factible que se puede presentar en el área de influencia. Cada uno de estos escenarios tiene asociada una frecuencia o probabilidad de ocurrencia

específica. El procedimiento de cálculo probabilista consiste en evaluar con métricas apropiadas, en este caso la pérdida económica, para cada uno de los activos expuestos, considerando cada uno de los escenarios de amenaza, y luego integrar en forma probabilista los resultados obtenidos utilizando las frecuencias de ocurrencia de cada escenario.

El riesgo sísmico ha sido calculado utilizando la plataforma CAPRA-GIS (ERN 2010). La metodología de cálculo se describe en el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – riesgo).

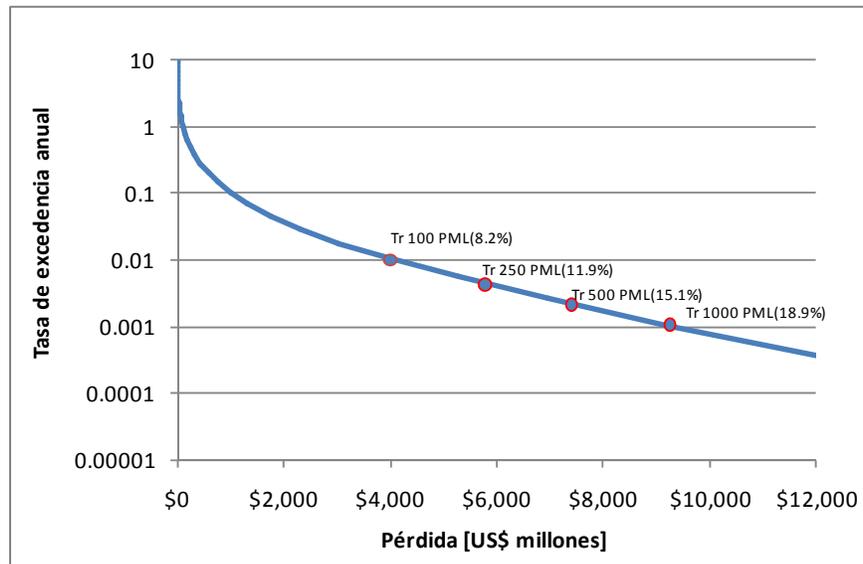
### 3.4.2 Pérdidas totales a nivel país

En primer lugar se presenta la Tabla 3-2 con la información consolidada a nivel de todo país como es el valor total expuesto, la pérdida anual esperada en valor y al millar (también conocida como prima técnica de riesgo) y valores indicativos de pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno.

**Tabla 3-2**  
**Resultados generales de PML por terremoto**

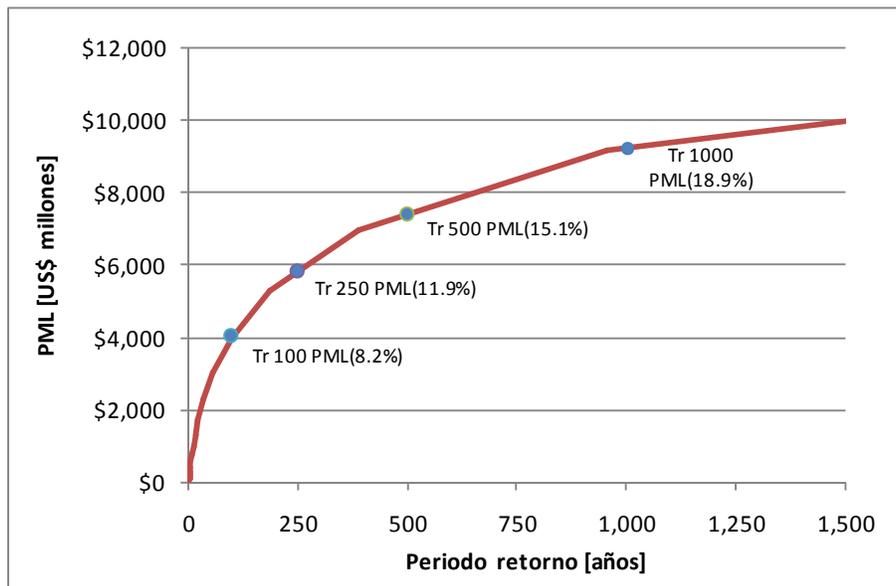
Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$48,941
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$593
	‰	12.1
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50	\$2,814	5.8%
100	\$4,019	8.2%
250	\$5,806	11.9%
500	\$7,387	15.1%
1000	\$9,240	18.9%

La Figura 3-3 presenta la curva de excedencia de pérdidas a nivel país por terremoto.



**Figura 3-3**  
*Excedencia de pérdidas por terremoto*

La Figura 3-4 presenta la curva de pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para diferentes periodos de retorno. Paralelamente se presentan en la Figura 3-5 las curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML en % para diferentes períodos de exposición, en particular 20, 50, 100 y 200 años.



**Figura 3-4**  
*Curva de PML por terremoto*

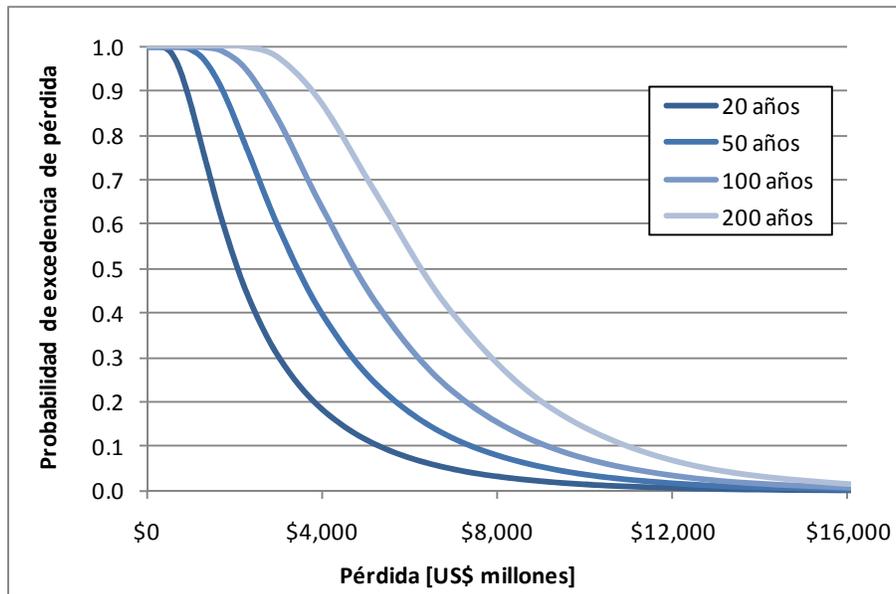


Figura 3-5

*Curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML, para diferentes tiempos de exposición, para terremoto*

La Tabla 3-3 resume por su parte los escenarios críticos resultantes del análisis, es decir los escenarios que resultaron con las mayores pérdidas económicas esperadas.

Tabla 3-3  
*Escenarios críticos de análisis por terremoto*

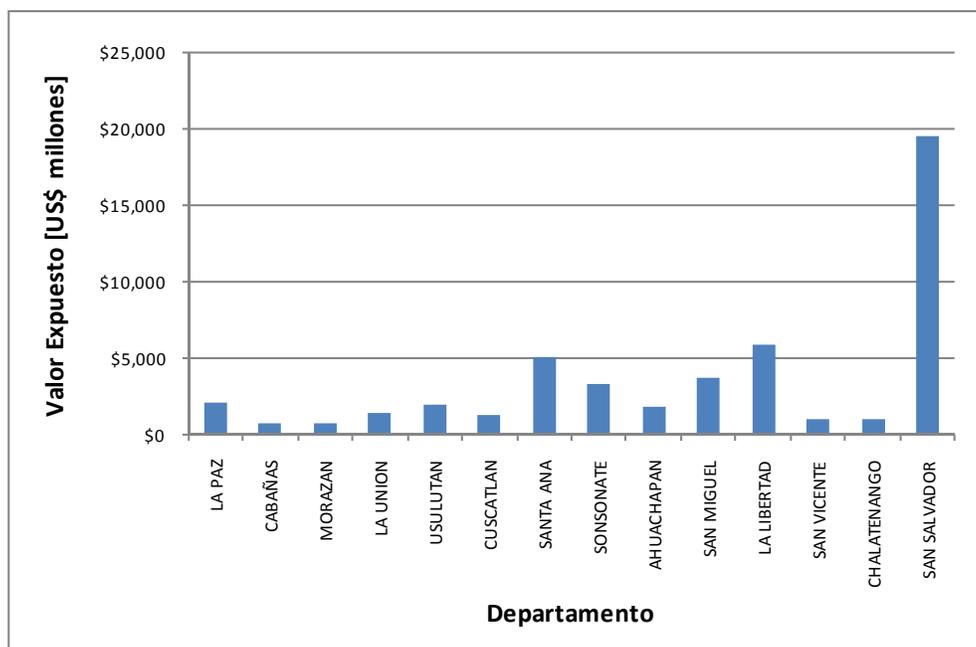
N°	Escenario		Pérdida		Frecuencia	Per retorno escenario [años]
	Fuente	Magnitud	[US\$ x 10 <sup>6</sup> ]	%		
3264	CAsi1_SF77	7.8	2,993.84	6.52%	1.73E-04	5765
3268	CAsi1_SF78	7.8	2,862.15	6.23%	1.73E-04	5765
4664	CAsp1_SF299	7.3	2,857.64	6.23%	7.68E-05	13027
4668	CAsp1_SF300	7.3	2,832.73	6.17%	7.68E-05	13027
4660	CAsp1_SF298	7.3	2,827.97	6.16%	7.68E-05	13027
4672	CAsp1_SF301	7.3	2,827.11	6.16%	7.68E-05	13027
4644	CAsp1_SF294	7.3	2,825.23	6.15%	7.68E-05	13027
4648	CAsp1_SF295	7.3	2,822.81	6.15%	7.68E-05	13027
4756	CAsp1_SF322	7.3	2,819.11	6.14%	7.68E-05	13027
4652	CAsp1_SF296	7.3	2,792.56	6.08%	7.68E-05	13027

### 3.5 Concentración del Riesgo Sísmico

El análisis de concentración del riesgo se realiza a nivel de departamentos y a nivel de los diferentes sectores de uso, para los sectores público y privado, así como para los principales componentes de la infraestructura nacional.

#### 3.5.1 Comparación de pérdidas por departamento

Las pérdidas se evalúan por departamento como unidad geográfica de análisis. La Figura 3-6 presenta la comparación de valores expuestos por departamento.



*Figura 3-6*  
*Valores expuestos por departamento*

Para cada uno de los departamentos, se realiza en forma complementaria un análisis individual, que permite estimar el nivel de pérdida máxima probable y el nivel de primas individuales por departamento. En cada caso se presentan resultados correspondientes a:

- Tabla resumen de pérdida anual esperada (AAL) y pérdida máxima probable (PML)
- Curvas de tasa de excedencia de pérdidas y de PML con el período de retorno
- Diagrama de barras con los valores de AAL en valor y al millar discriminados para cada uno de los sectores de uso.

La Figura 3-7 presenta un ejemplo del formato de presentación de los resultados individuales para cada uno de los departamentos. En el Anexo ERN-CAPRA-T3.3-2 se presentan los resultados individuales para los departamentos restantes.

### 3. Riesgo catastrófico por terremoto

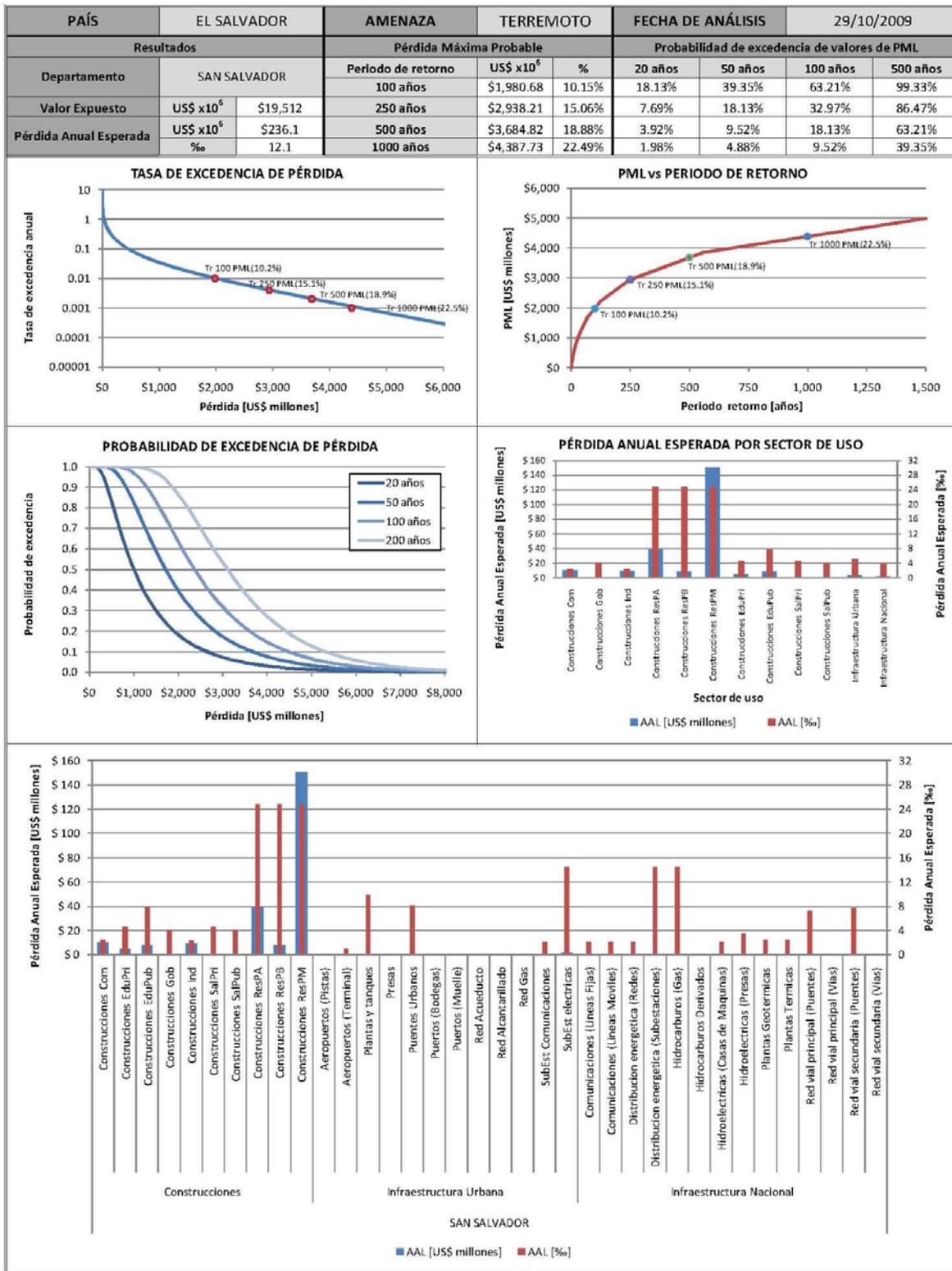


Figura 3-7  
Ejemplo de resultados por terremoto para San Salvador

La Figura 3-8 resume los valores de PML para periodos de retorno de 250, 500 y 1000 años para cada uno de los departamentos tanto en valor como en porcentaje.

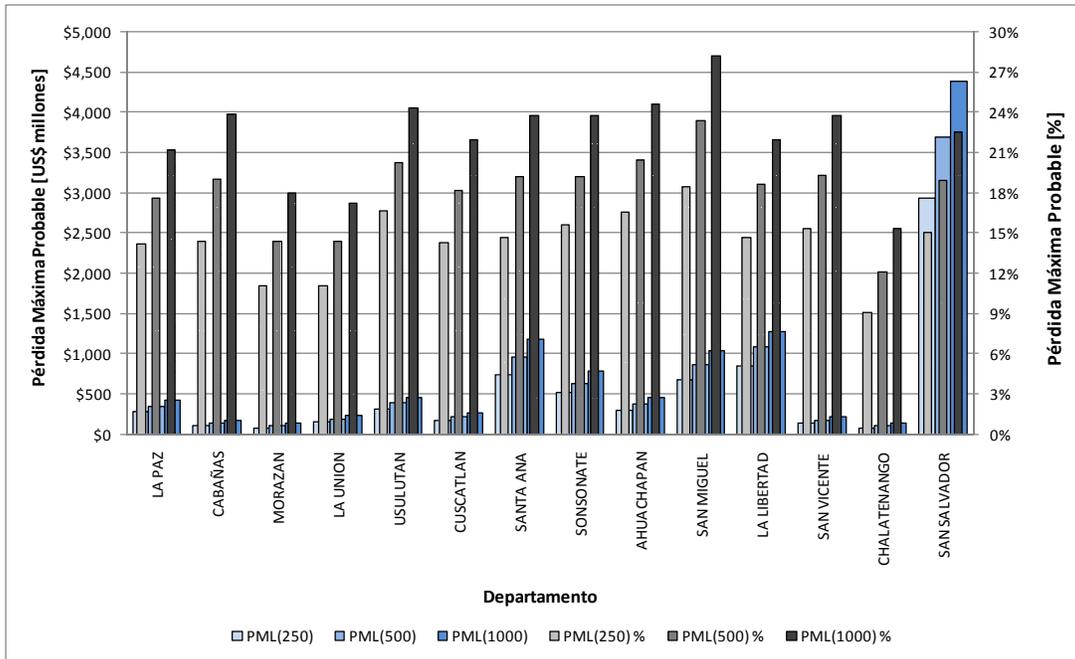


Figura 3-8

Valores de PML por terremoto y para varios periodos de retorno en cada departamento

Por otro lado la Figura 3-9 presenta los valores correspondientes de AAL tanto en valor como al millar.

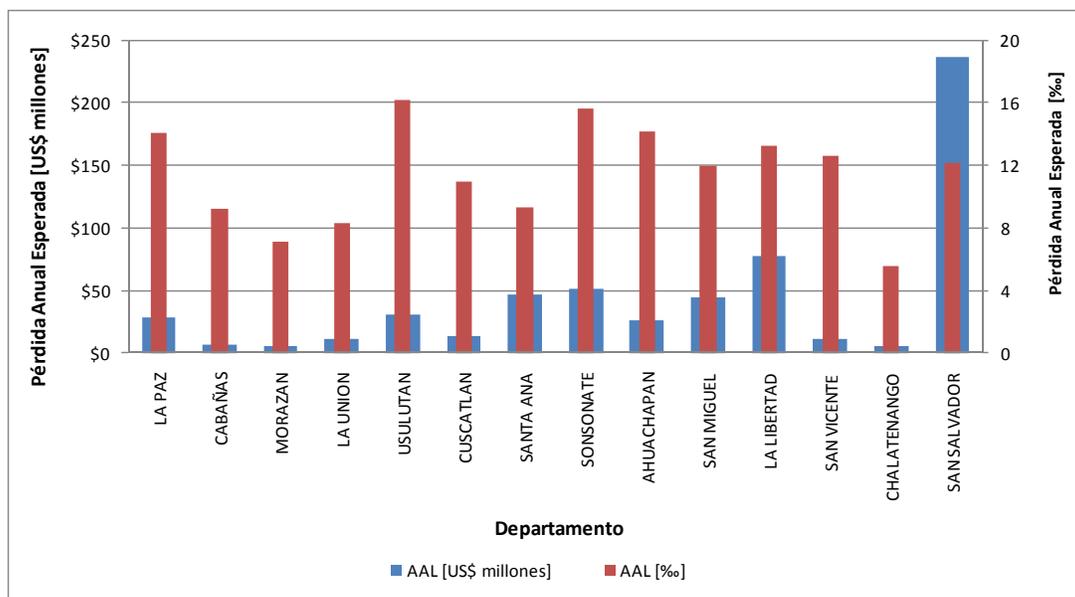


Figura 3-9

Valores de AAL por terremoto y por departamento

En la Figura 3-10 se presenta el desglose de las pérdidas anuales esperadas por sectores para cada uno de los departamentos. Los sectores considerados son las construcciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional asociada con cada departamento.

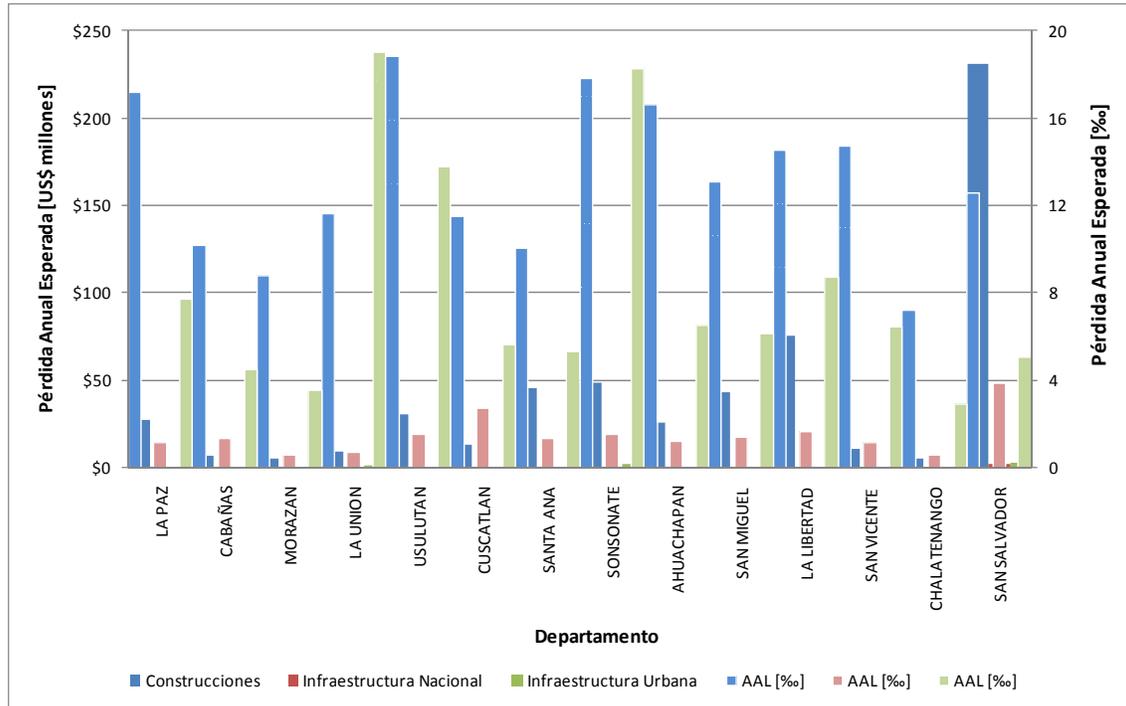
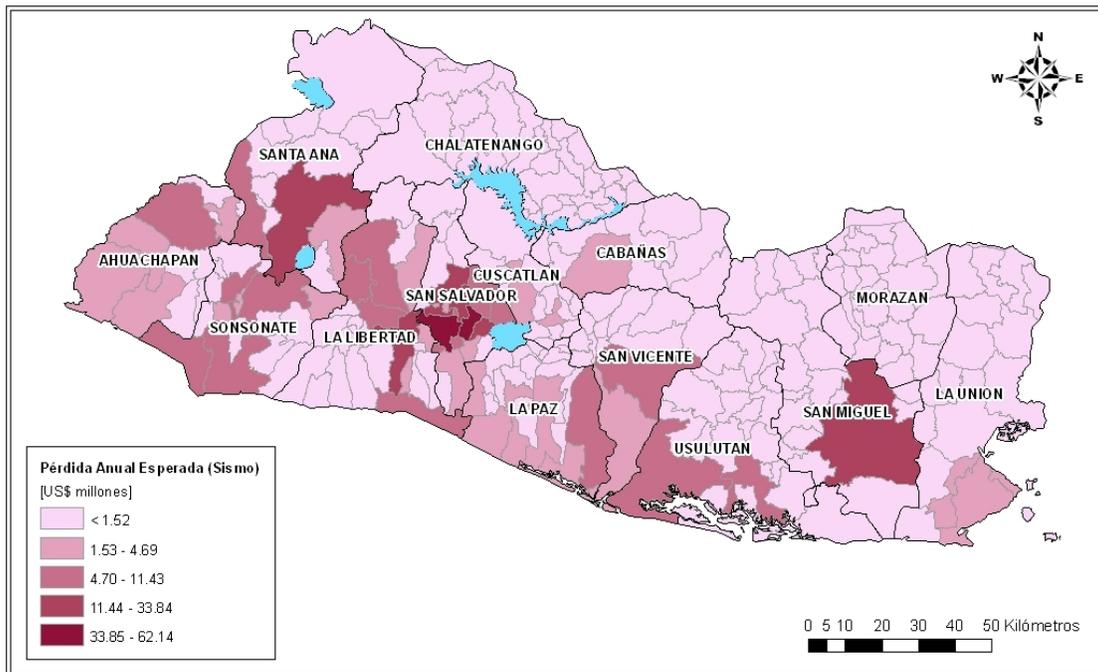


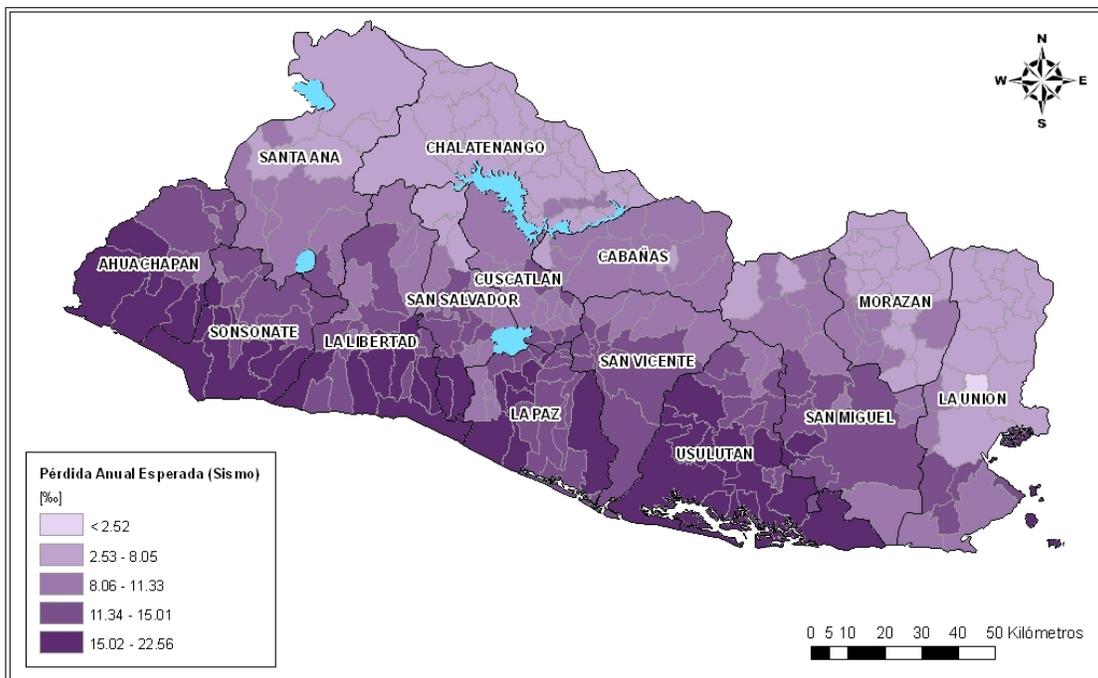
Figura 3-10

Valores de AAL por terremoto y por departamento desglosada por sectores

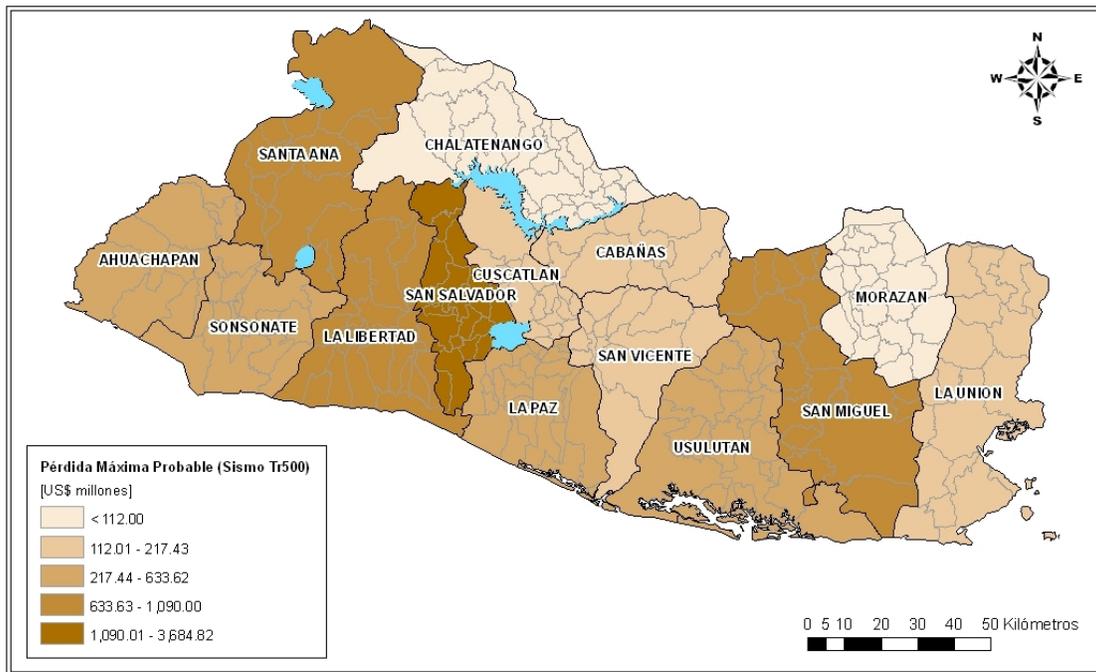
Finalmente la Figura 3-11 y la Figura 3-12 presentan la distribución geográfica de la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los municipios. Por otro lado, la Figura 3-13 y la Figura 3-14 presentan la pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para cada uno de los departamentos.



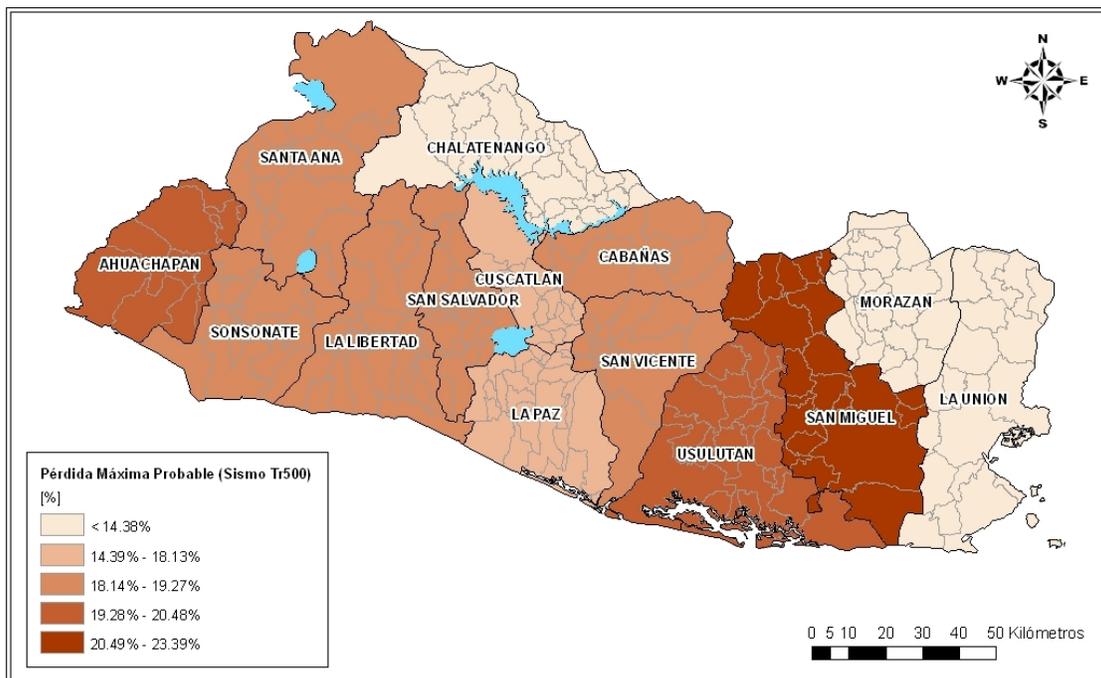
**Figura 3-11**  
*Distribución geográfica de AAL (valor) por terremoto por municipio*



**Figura 3-12**  
*Distribución geográfica de AAL (%) por terremoto y por municipio*



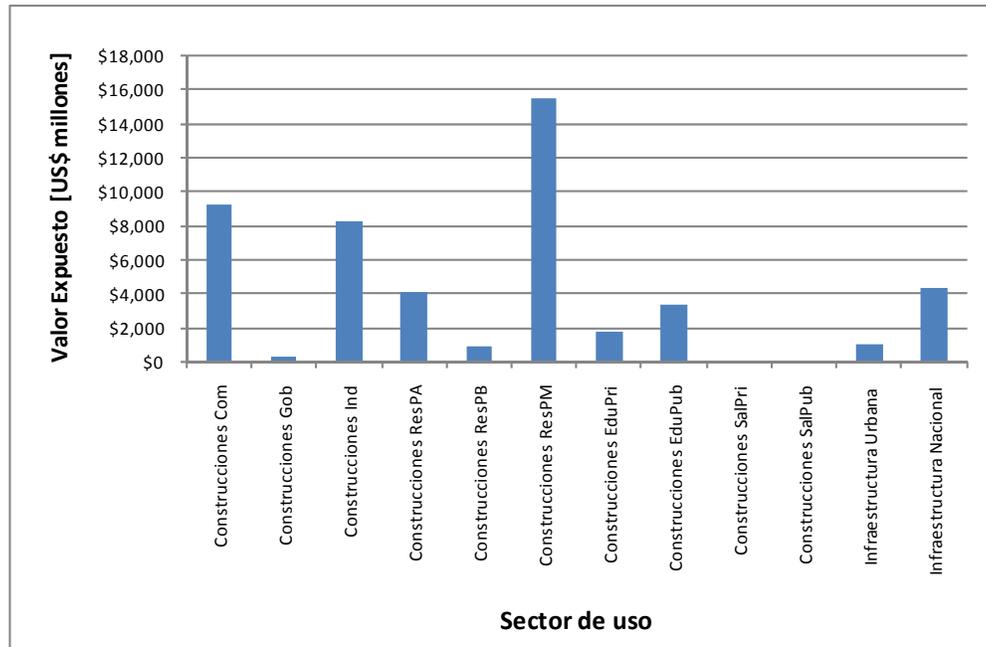
**Figura 3-13**  
Distribución geográfica de PML (valor) por terremoto y por departamento



**Figura 3-14**  
Distribución geográfica de PML (%) por terremoto y por departamento

### 3.5.2 Comparación de pérdidas por sector

La Figura 3-15 presenta la comparación de los valores relativos expuestos por sector a nivel del país.



**Figura 3-15**  
*Valores expuestos por uso*

La Figura 3-16 totaliza la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los sectores de uso y para todo el país en forma agregada.

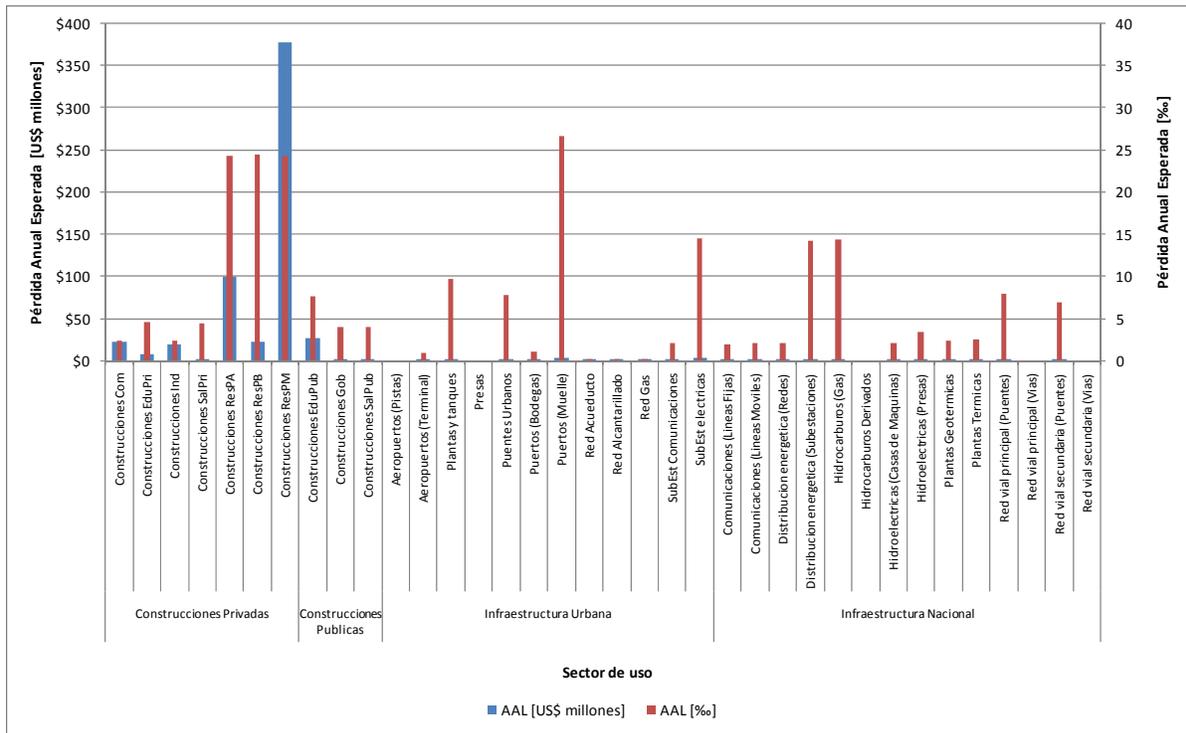


Figura 3-16  
Valores de AAL por terremoto y por sectores

Por otro lado y en forma más resumida, la Figura 3-17 presenta los resultados equivalentes a la totalización de los resultados para los tres sectores de uso principales que corresponden a construcciones urbanas, infraestructura urbana e infraestructura nacional.

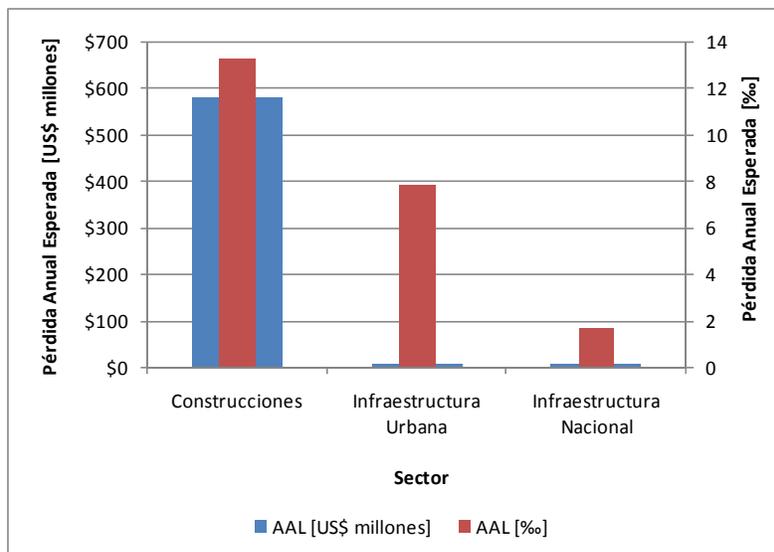


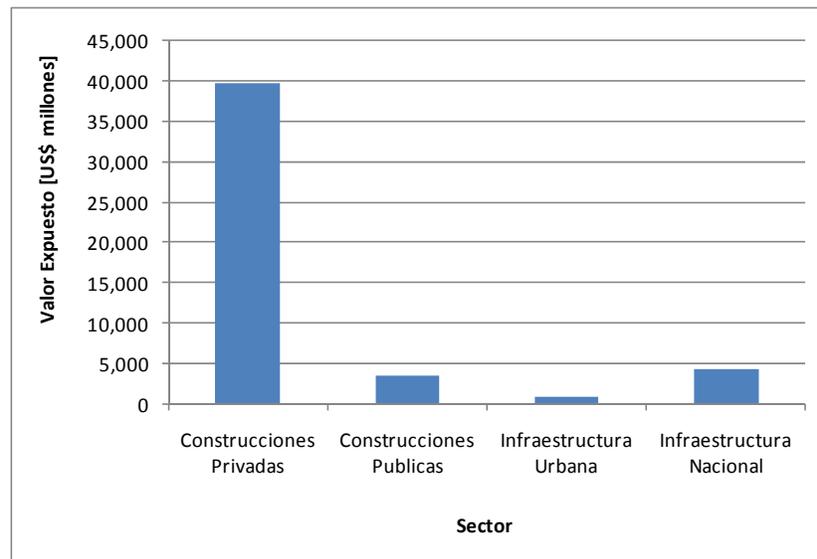
Figura 3-17  
Resumen de distribución de AAL por terremoto y por sectores

### 3.5.3 Pérdida máxima probable para sectores público y privado

Para evaluar la pérdida máxima probable para los sectores público y privado es necesario realizar análisis para cada uno de los portafolios que se desee analizar, ya que los resultados de este tipo de análisis dependen de la distribución geográfica relativa de los valores expuestos.

El sector público incluye las construcciones urbanas públicas (salud, educación –cuando son del Estado– y gubernamentales) así como toda la infraestructura. Por su parte el sector privado incluye únicamente las construcciones residenciales, comerciales, industriales y las construcciones respectivas del sector salud y educación.

La Figura 3-18 presenta los valores expuestos a nivel de sector público y privado en el país.



**Figura 3-18**  
*Valores expuestos por sectores*

La Figura 3-19 y Figura 3-20 presentan la curva de PML para cada uno de estos sectores.

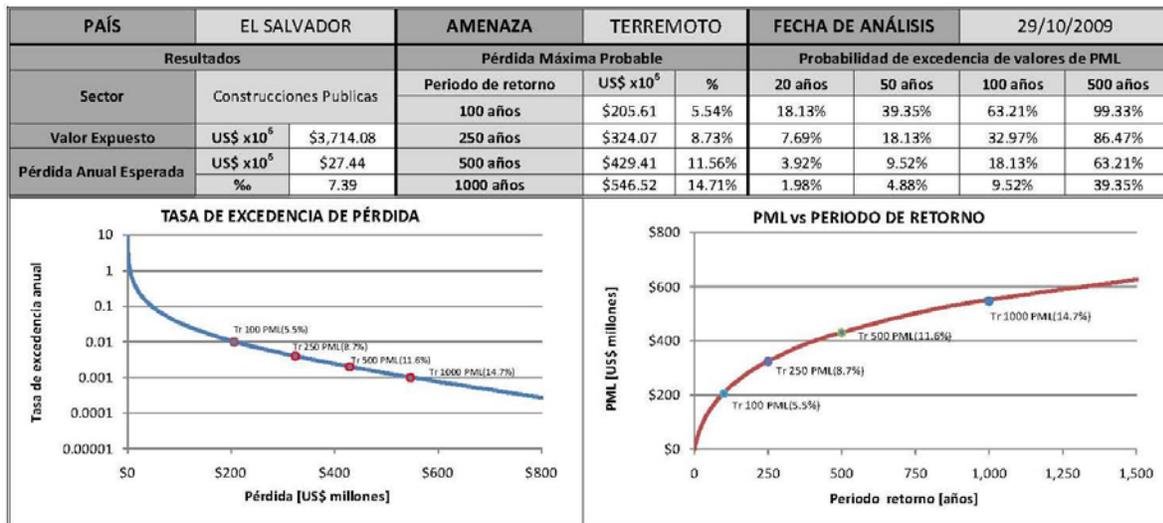


Figura 3-19

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto y para construcciones públicas

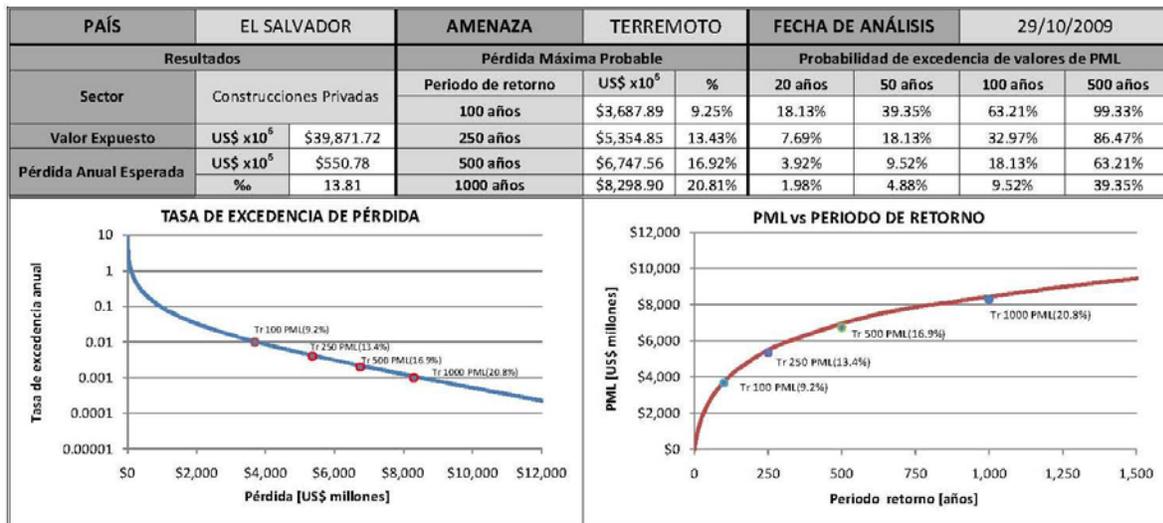


Figura 3-20

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto y para construcciones privadas

### 3.5.4 Pérdida máxima probable para la infraestructura nacional

Un análisis similar al anterior se realiza para el sector de infraestructura nacional teniendo en cuenta que se han podido realizar análisis individuales para:

- Generación y distribución de energía
- Comunicaciones
- Transportes (vías y puentes)
- Hidrocarburos

Para cada uno de estos sectores se presentan los resultados de curvas de PML vs. periodo de retorno y resultados globales de AAL en valor y al millar. La Figura 3-21 a Figura 3-24 resumen estos resultados. En el Anexo ERN-CAPRA-T3.3-3 se presentan los resultados para los demás sectores.

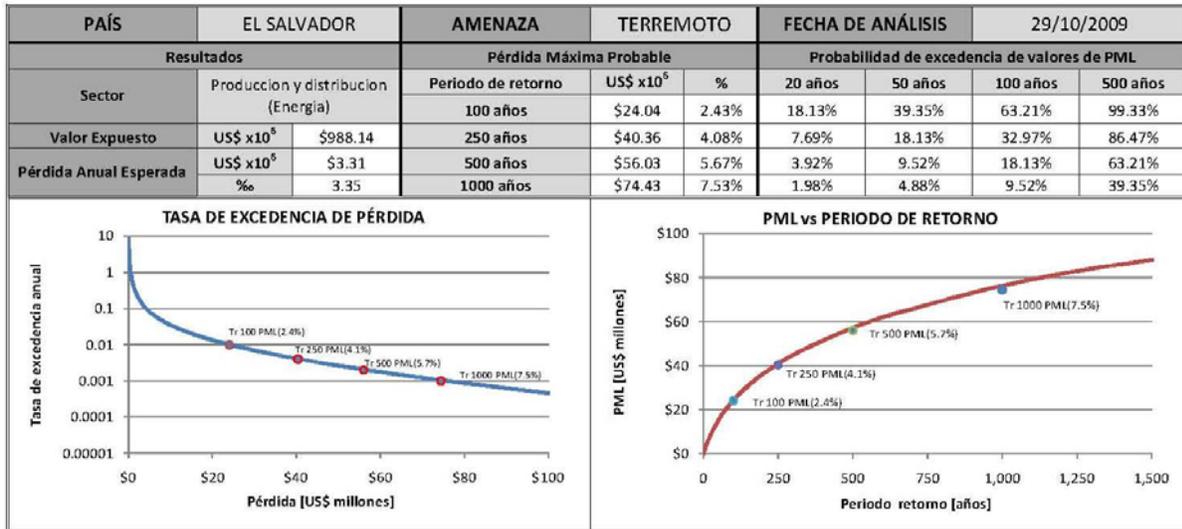


Figura 3-21

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector energía

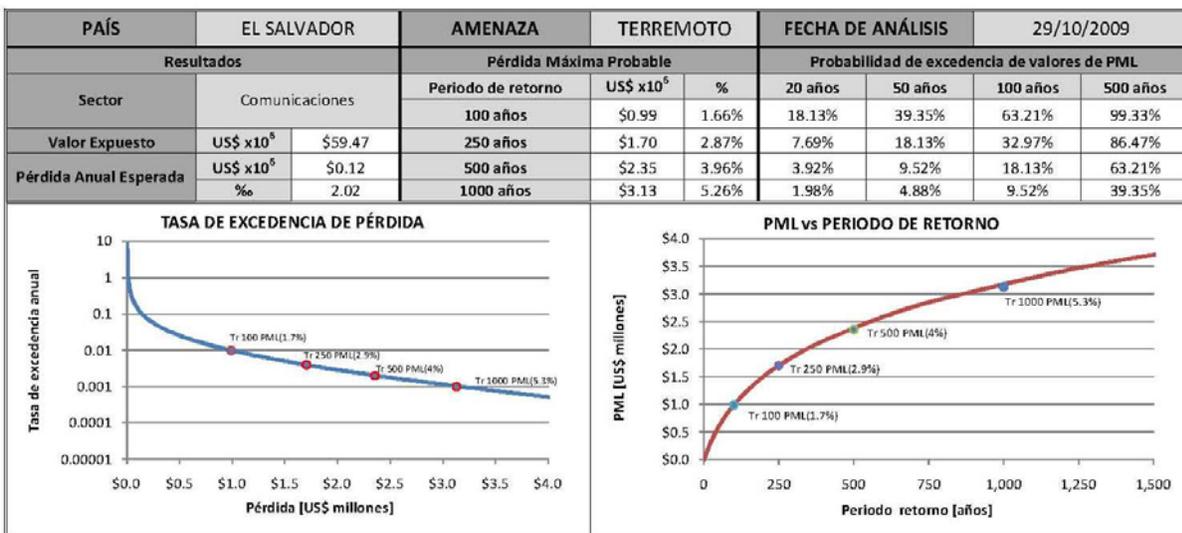


Figura 3-22

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector comunicaciones

### 3. Riesgo catastrófico por terremoto

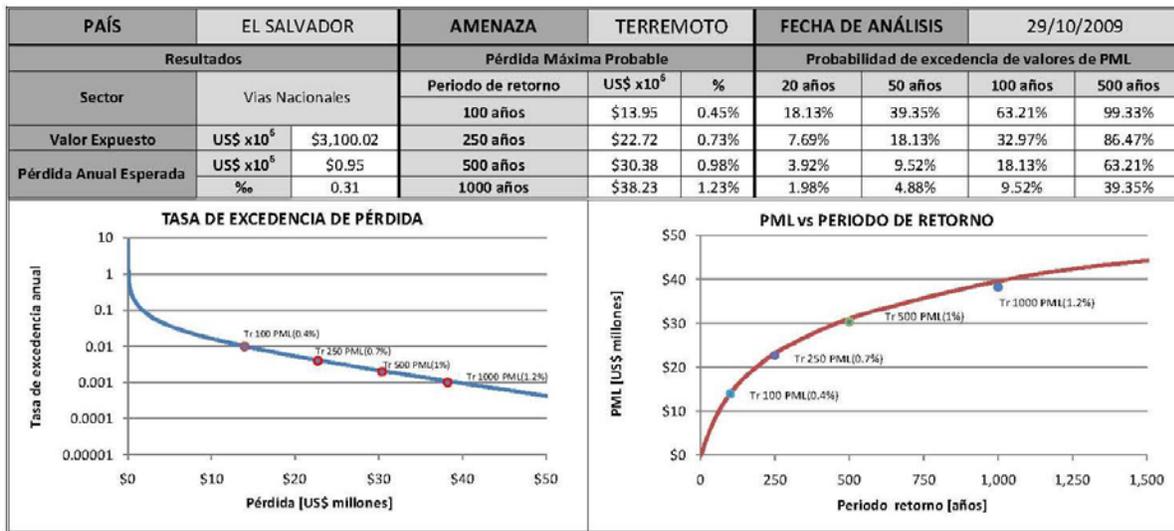


Figura 3-23

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector transporte

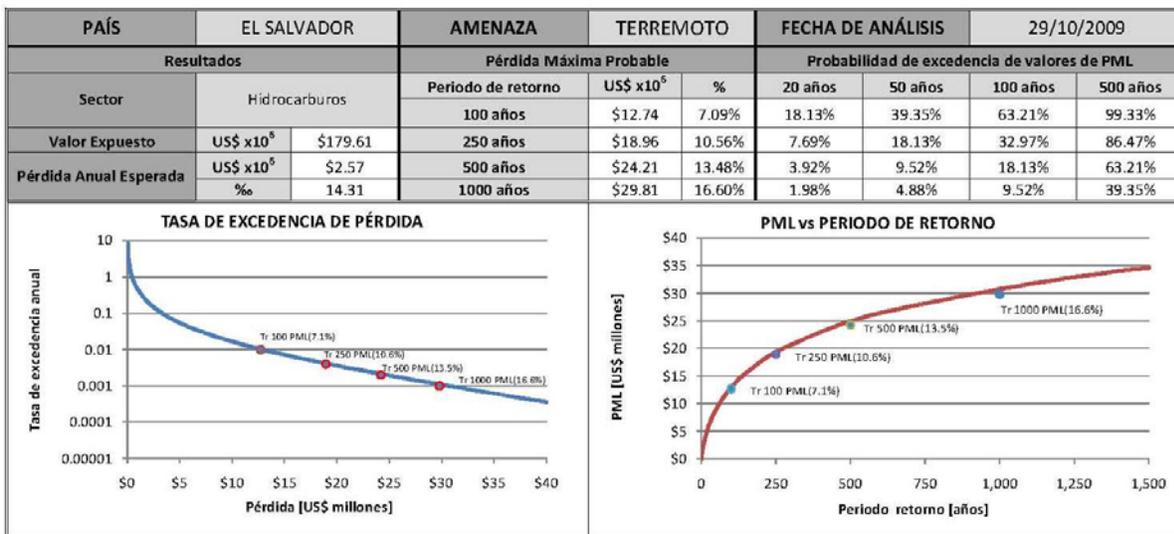


Figura 3-24

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector de hidrocarburos

## **4 Riesgo catastrófico por huracán**

---

### **4.1 Amenaza por huracán**

La amenaza por huracán de El Salvador es evaluada a partir de la perturbación estadística de trayectorias de tormentas históricas. La evaluación de la amenaza se encuentra en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010), y en el sitio Wiki de CAPRA [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### **4.2 Inventario de activos del país**

El inventario de elementos expuestos corresponde al presentado en el informe ERN-CAPRA-T2.1 (Caracterización, Clasificación y Valoración de Elementos Expuestos, ERN2010), disponible también en el sitio wiki de CAPRA [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### **4.3 Vulnerabilidad de Activos Frente al Viento**

#### **4.3.1 Aspectos generales**

Para el caso de vientos huracanados, la vulnerabilidad se plantea como la relación que hay entre la velocidad máxima de viento en el sitio de ubicación del elemento expuesto analizado y el nivel de daño que puede presentar asociado a dicha velocidad máxima de viento. El procedimiento para la calificación de la vulnerabilidad de los diferentes elementos expuestos ante la acción de los huracanes es el siguiente:

- (a) Tipificación de los tipos constructivos más representativos o predominantes en el conjunto de elementos expuestos, con base en la información existente y las opiniones y criterios aportados a nivel local.
- (b) Cálculo de las funciones de vulnerabilidad de los tipos constructivos característicos. Para este efecto se desarrollaron algunos modelos analíticos o se utilizaron algunas funciones aplicables ya publicadas según experiencias nacionales e internacionales previas.
- (c) Conformación de la base de datos de las construcciones y elementos principales que representan el inventario de activos de la nación.
- (d) Asignación de un tipo constructivo característico a cada uno de los elementos que conforman el inventario de activos expuestos y asignación de la función de vulnerabilidad correspondiente.

A continuación se presenta una descripción del tipo de funciones de vulnerabilidad que se utilizaron para diferentes elementos expuestos. Estas curvas están basadas en el comportamiento de componentes típicos equivalentes, en estudios previos o en análisis específicos de las condiciones de diseño y construcción de los elementos modelados ante las fuerzas del viento.

### 4.3.2 *Funciones de vulnerabilidad ante la acción del viento*

Las funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos constructivos de edificaciones expuestas a la acción del viento dependen de varios factores como son:

- Sistema estructural principal.
- Forma de la estructura, porcentaje de aberturas en la sección, tamaño de luces principales y otras características geométricas.
- Elementos que conforman la fachada y tipo de unión a los elementos estructurales.
- Partes que conforman la ventanería, las puertas y sus sistemas de sujeción a otros elementos.
- Sistema de cubierta así como elementos de sujeción y conexión de la misma a la estructura de la cubierta.

La evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante las fuerzas de viento debe valorarse mediante la ponderación de los efectos que pueden sufrir los diferentes componentes de las construcciones y su estructura.

La generación de funciones de vulnerabilidad se realiza en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2010), con base en la información disponible. En el vínculo link <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – vulnerabilidad) presenta un resumen de la metodología de cálculo de la vulnerabilidad de acuerdo con los tipos constructivos dominantes del país.

### 4.3.3 *Funciones de vulnerabilidad para los elementos expuestos*

El análisis requiere funciones de vulnerabilidad para cada uno de los tipos de elementos que componen el inventario de activos del país. Los tipos de elementos son los siguientes:

#### *Construcciones urbanas y rurales típicas*

- (a) Residencial PB: capacidad económica baja (Res PB)
- (b) Residencial PM: capacidad económica media (Res PM)
- (c) Residencial PA: capacidad económica alta (Res PA)
- (d) Comercial
- (e) Industrial
- (f) Salud privada
- (g) Educación privada
- (h) Salud pública
- (i) Educación pública
- (j) Gubernamentales

#### *Infraestructura urbana*

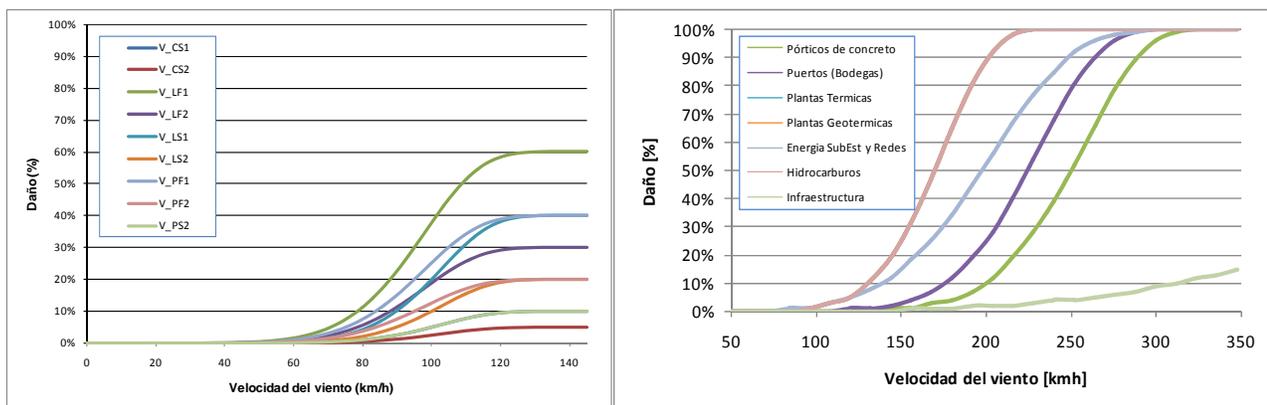
- (a) Subestaciones de energía más redes anexas
- (b) Subestaciones de comunicaciones más antenas

- (c) Presas, tanques y plantas de acueducto y alcantarillado
- (d) Redes de acueducto, alcantarillado
- (e) Redes de gas
- (f) Aeropuertos
- (g) Puertos
- (h) Puentes urbanos

#### Infraestructura nacional

- (a) Vías Red primaria (vías y puentes)
- (b) Vías Red secundaria (vías y puentes)
- (c) Hidroeléctricas (presas y casas de máquinas)
- (d) Plantas térmicas y geotérmicas
- (e) Subestaciones de energía más redes anexas
- (f) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (g) Subestaciones de combustible y gas más redes anexas.

Las funciones de vulnerabilidad para cada uno de estos componentes se calculan utilizando el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2010). Las funciones se generan en términos de velocidad máxima de viento. Las curvas se modifican con factores que tienen en cuenta aspectos particulares de los tipos constructivos locales tales como la calidad de materiales, estado general de las construcciones, prácticas de diseño y construcción típicas, y en general las características específicas de los tipos estructurales predominantes. Debe anotarse que varios de los componentes de infraestructura tales como hidroeléctricas, sistemas de tuberías, red vial y otros son en general poco susceptibles al efecto directo del viento, por lo cual su vulnerabilidad se asume como nula para el análisis. En la Figura 4-1 se presentan las funciones de vulnerabilidad utilizadas para el análisis. En el vínculo [http://www.ecapra.org/es/ \(wiki - vulnerabilidad\)](http://www.ecapra.org/es/ (wiki - vulnerabilidad)) se presentan dichas funciones.



**Figura 4-1**  
*Funciones de vulnerabilidad para viento huracanado*

## 4.4 Evaluación del riesgo por huracanes

### 4.4.1 Aspectos generales

Con base en los modelos de amenaza probabilísticos propuestos y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes, se desarrolló una modelación probabilista del riesgo para el país por vientos huracanados usando la plataforma CAPRA-GIS (ERN 2010).

La metodología de cálculo del riesgo sigue la misma metodología que la empleada para el caso de sismo, para lo cual mayor detalle se encuentra en el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – riesgo).

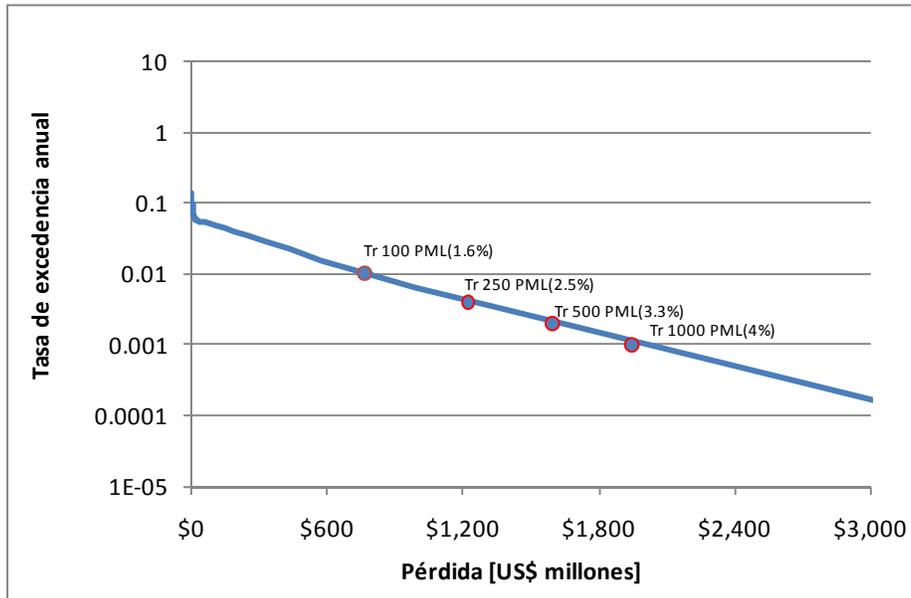
### 4.4.2 Pérdidas totales a nivel de país

En primer lugar se presenta la Tabla 4-1 con la información consolidada a nivel de todo el país como es el valor total expuesto, los valores de pérdida anual esperada en valor y al millar (también conocida como prima técnica de riesgo) y valores indicativos de pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno.

*Tabla 4-1  
Resultados generales de PML para viento huracanado*

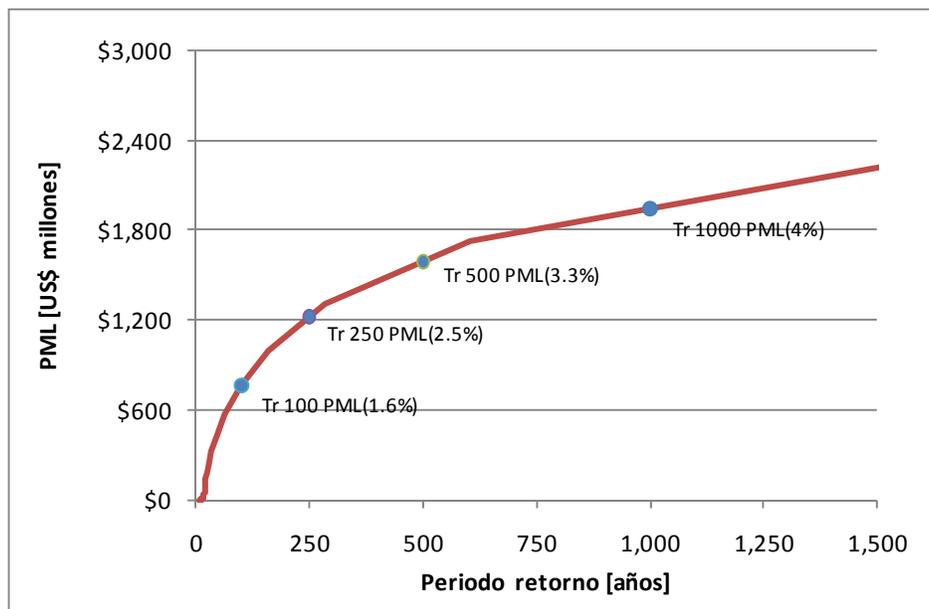
Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$48,934
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$27
	‰	0.6
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50	\$459	0.9%
100	\$763	1.6%
250	\$1,221	2.5%
500	\$1,594	3.3%
1000	\$1,946	4.0%

La Figura 4-2 presenta las curvas de excedencia de pérdidas a nivel país por viento huracanado



**Figura 4-2**  
*Excedencia de pérdidas por viento huracanado*

La Figura 4-3 presenta la curva de pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para diferentes periodos de retorno. Paralelamente se presentan en la Figura 4-4 las curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML en % para diferentes períodos de exposición, en particular 20, 50, 100 y 200 años.



**Figura 4-3**  
*Curva de PML por vientos huracanados*

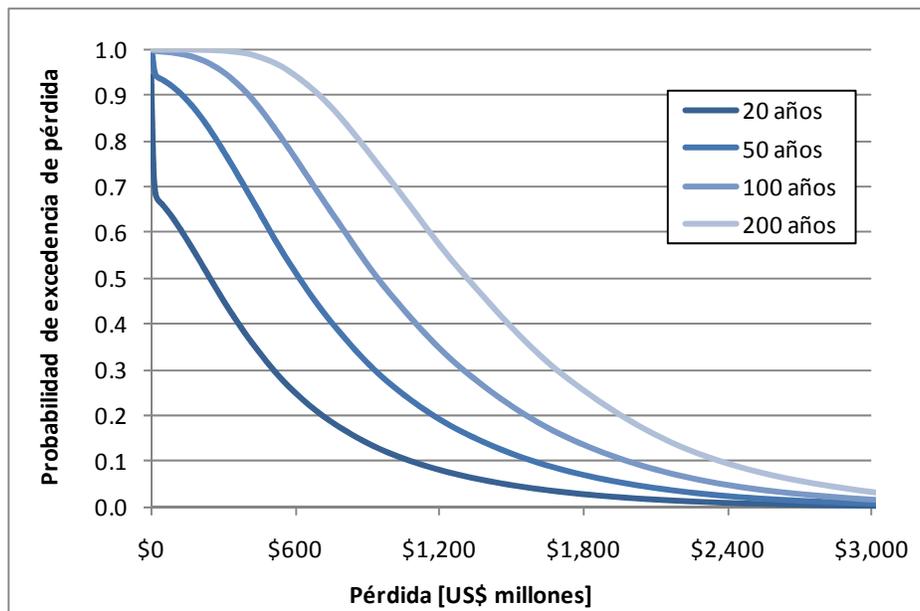


Figura 4-4

*Curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML, para diferentes tiempos de exposición por vientos huracanados*

La Tabla 4-2 resume por su parte el grupo de simulaciones (“familia”) de los escenarios críticos resultantes del análisis, es decir los escenarios que resultaron con las mayores pérdidas económicas esperadas por efecto de vientos huracanados.

Tabla 4-2

*Grupo de simulaciones de los escenarios críticos de análisis para vientos huracanados*

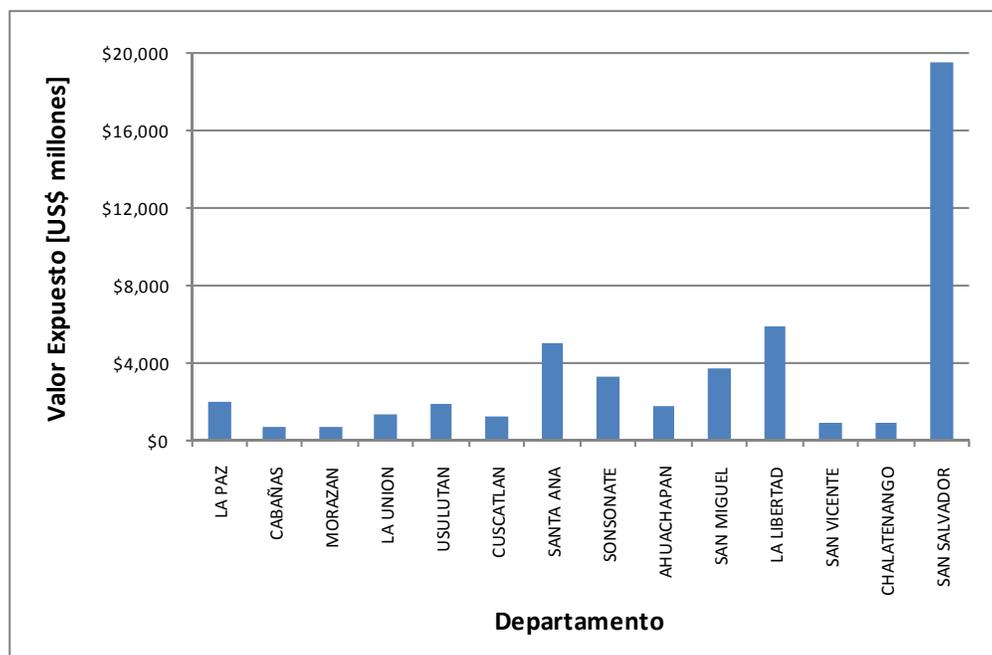
N°	Escenario	Pérdida		Frecuencia	Tr escenario [años]
	Fuente	[US\$ x 10 <sup>6</sup> ]	%		
1	BRIDGET	0.42	0.00%	2.86E-02	35
2	OLIVIA	305.02	0.67%	2.86E-02	35
3	PAUL	7.00	0.02%	2.86E-02	35
4	DOUGLAS	4.44	0.01%	2.86E-02	35
5	JULIETTE	0.00	0.00%	2.86E-02	35
6	ADRIAN	632.03	1.38%	2.86E-02	35

## 4.5 Concentración del Riesgo por Huracanes

El análisis de concentración del riesgo se realiza a nivel de departamentos y a nivel de los diferentes sectores de uso, para los sectores público y privado, así como para los principales componentes de infraestructura a nivel nacional.

### 4.5.1 Comparación de pérdidas por departamento

Las pérdidas se evalúan por departamento como unidad geográfica de análisis. La Figura 4-5 presenta la comparación de valores expuestos por departamento.



*Figura 4-5*  
*Valores expuestos por departamento*

Para cada uno de los departamentos, se realiza en forma complementaria un análisis individual, que permite estimar el nivel de pérdida máxima probable y el nivel de primas individuales por departamento. En cada caso se presentan resultados correspondientes a:

- Tabla resumen de pérdida anual esperada (AAL) y pérdida máxima probable (PML)
- Curvas de tasas de excedencia de pérdidas y de PML con el período de retorno
- Diagrama de barras con los valores de AAL en valor y en millar discriminados para cada uno de los sectores de uso.

La Figura 4-6 presenta un ejemplo del formato de presentación de los resultados individuales para cada uno de los departamentos. En el Anexo ERN-CAPRA-T3.3-2 se presentan los resultados individuales para los departamentos restantes.

#### 4. Riesgo catastrófico por huracán

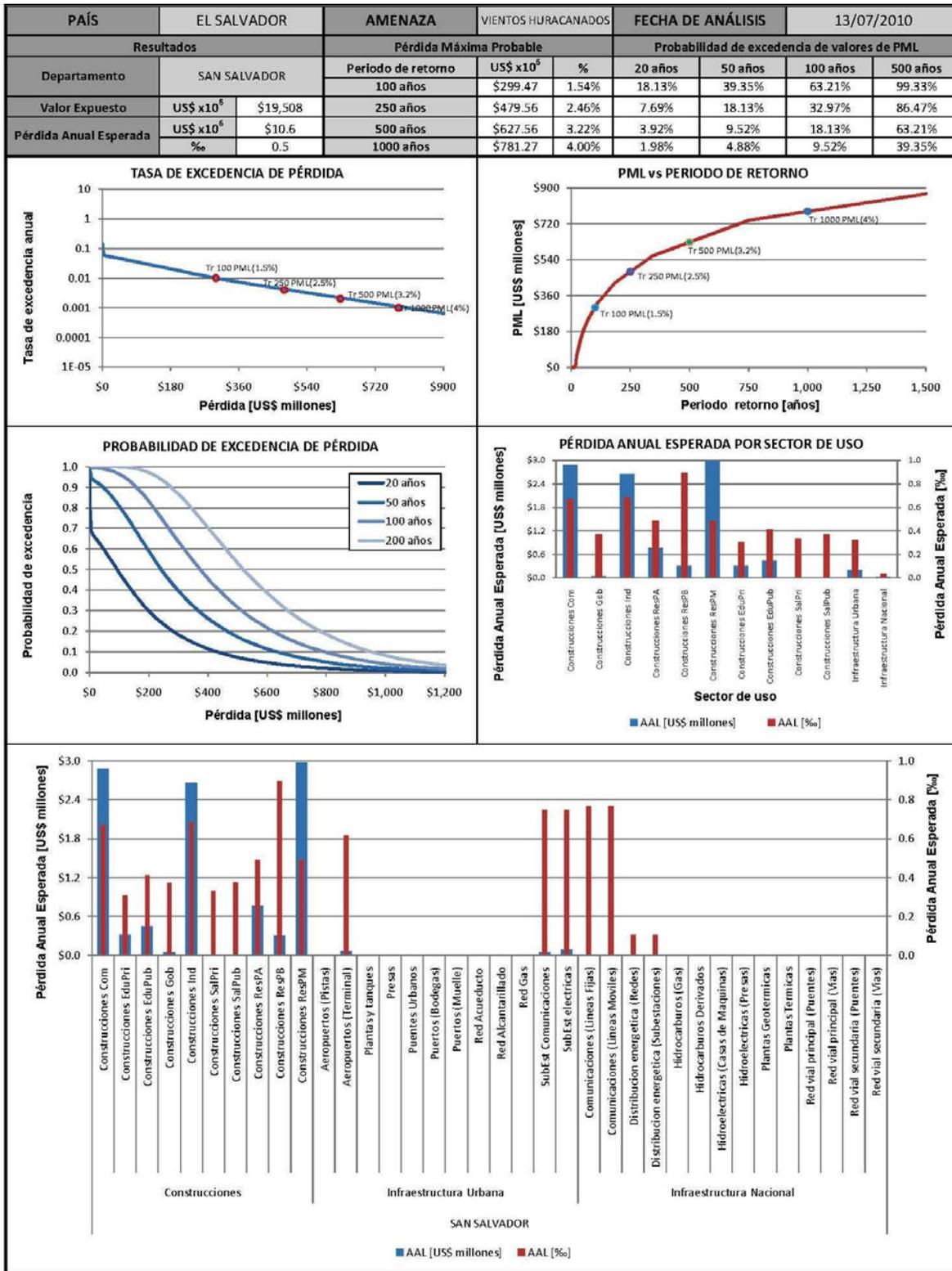


Figura 4-6  
Ejemplo de resultados por viento para San Salvador

La Figura 4-7 resume los valores de PML para periodos de retorno de 250, 500 y 1000 años para cada uno de los departamentos tanto en valor como en porcentaje.

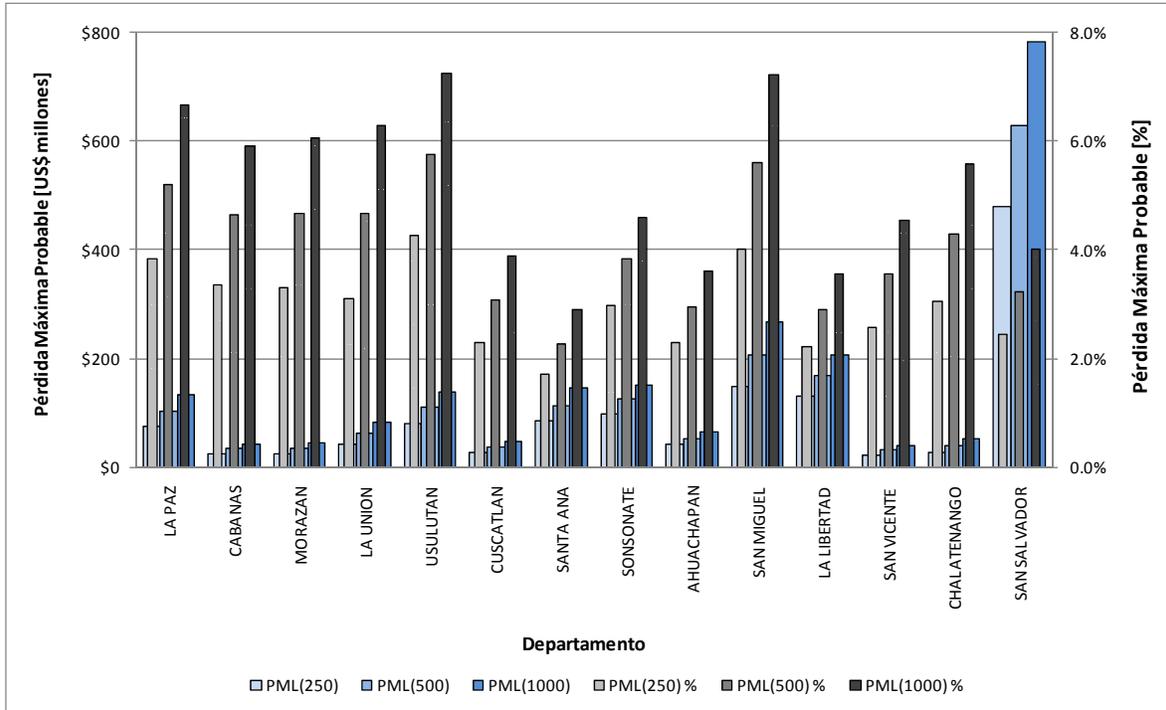


Figura 4-7

Valores de PML por viento y para varios periodos de retorno en cada departamento

Por otro lado la Figura 4-8 presenta los valores correspondientes de AAL tanto en valor como al millar.

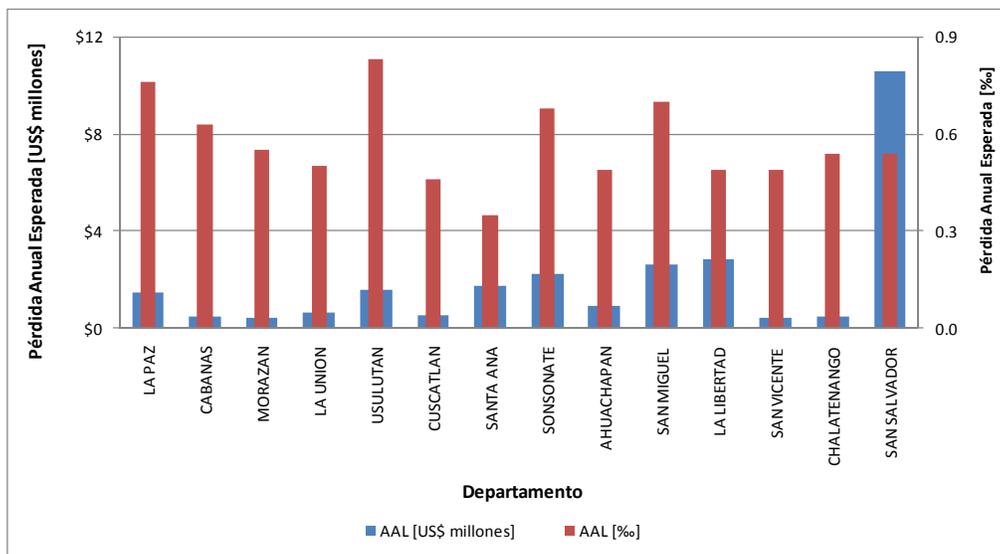
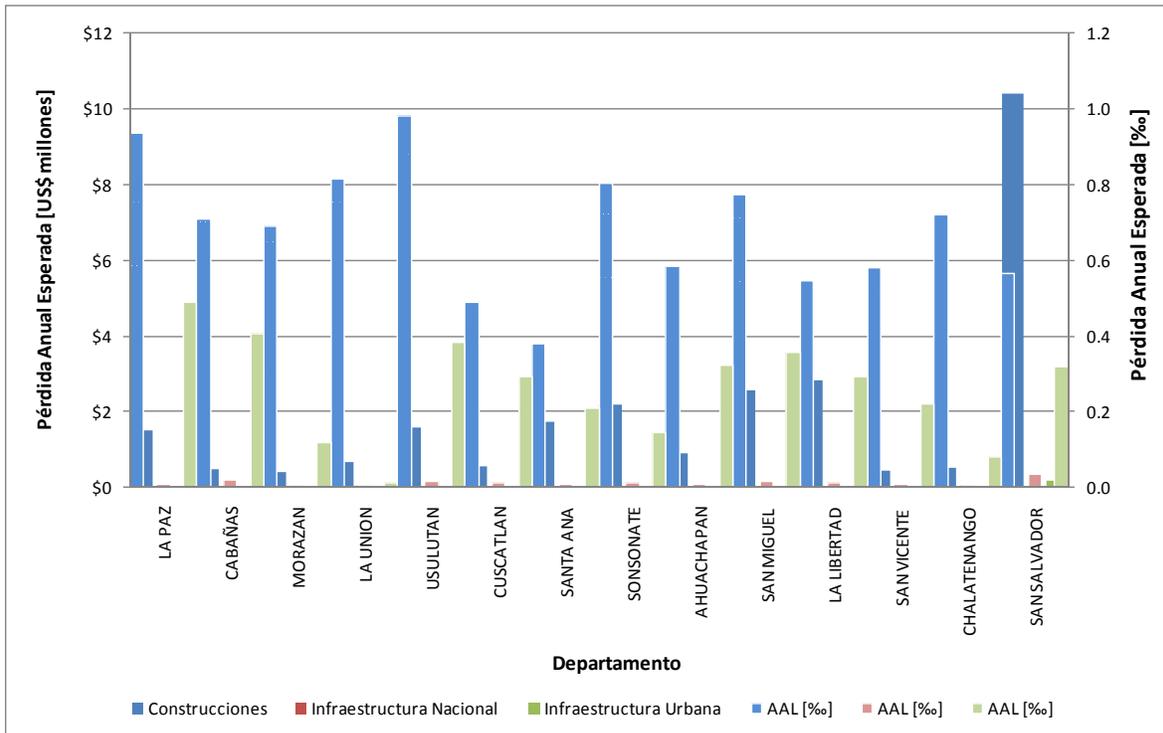


Figura 4-8

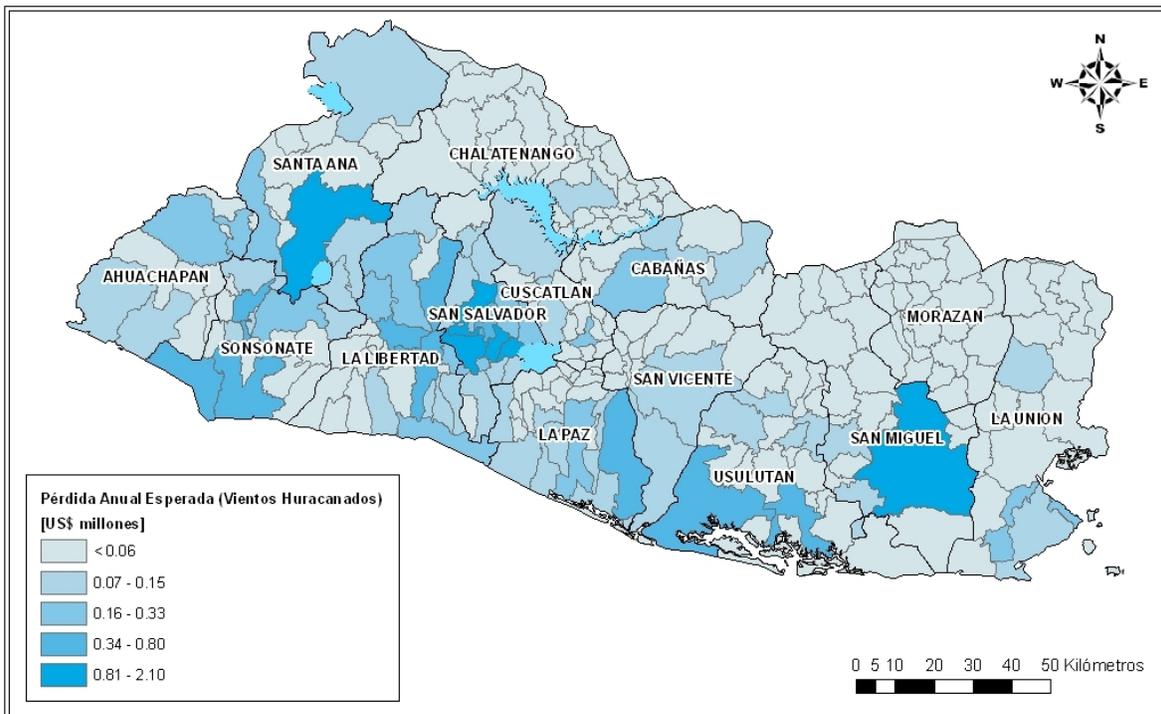
Valores de AAL por viento por departamento

En la Figura 4-9 se presenta el desglose de las pérdidas anuales esperadas por sectores para cada uno de los departamentos. Los sectores considerados son las construcciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional asociada con cada departamento.

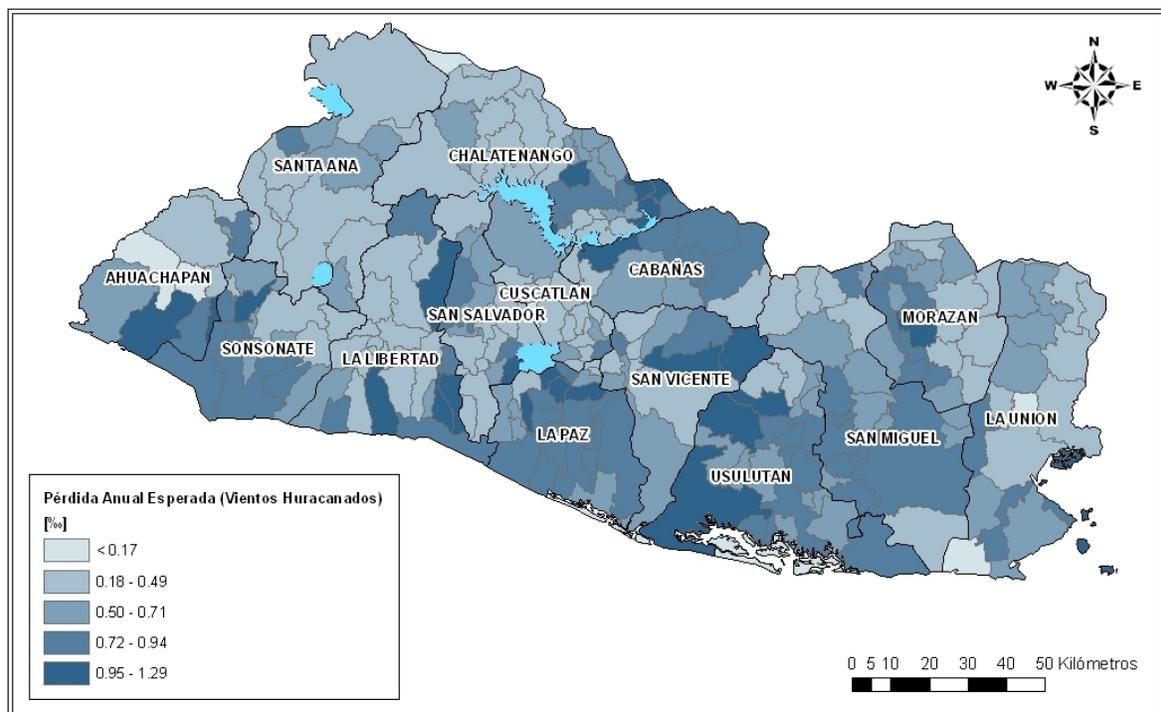


**Figura 4-9**  
*Valores de AAL por viento por departamento desglosado por sectores*

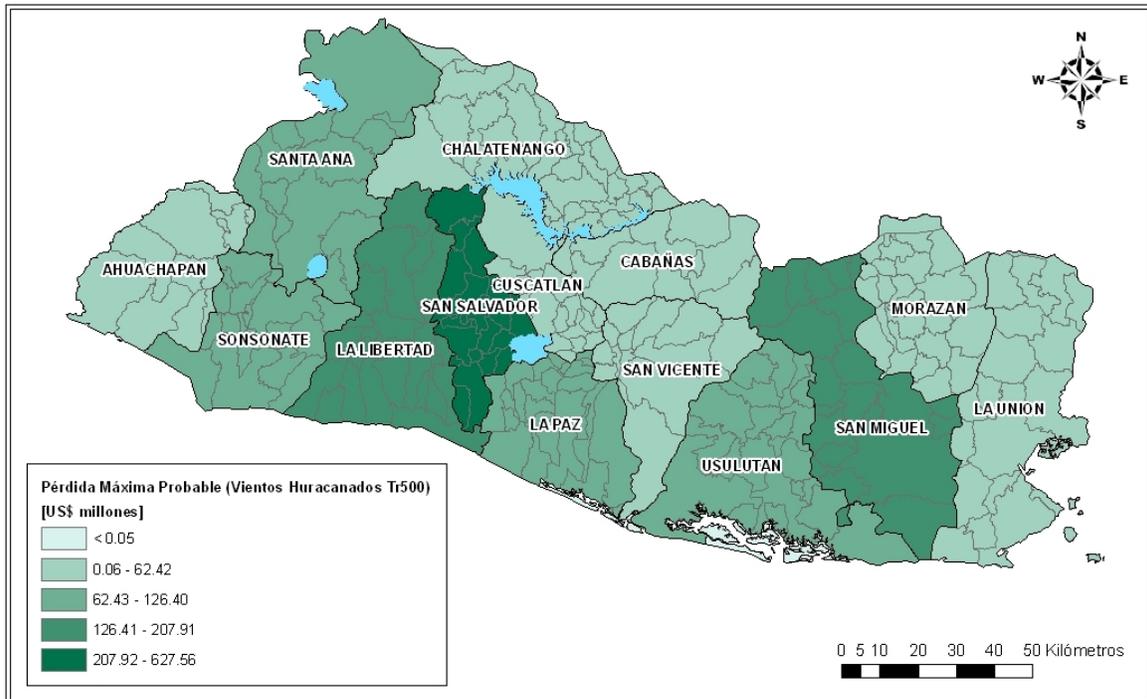
Finalmente la Figura 4-10 y la Figura 4-11 presentan la distribución geográfica de la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los municipios. Por otro lado la Figura 4-12 y la Figura 4-13 presentan la pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para cada uno de los departamentos.



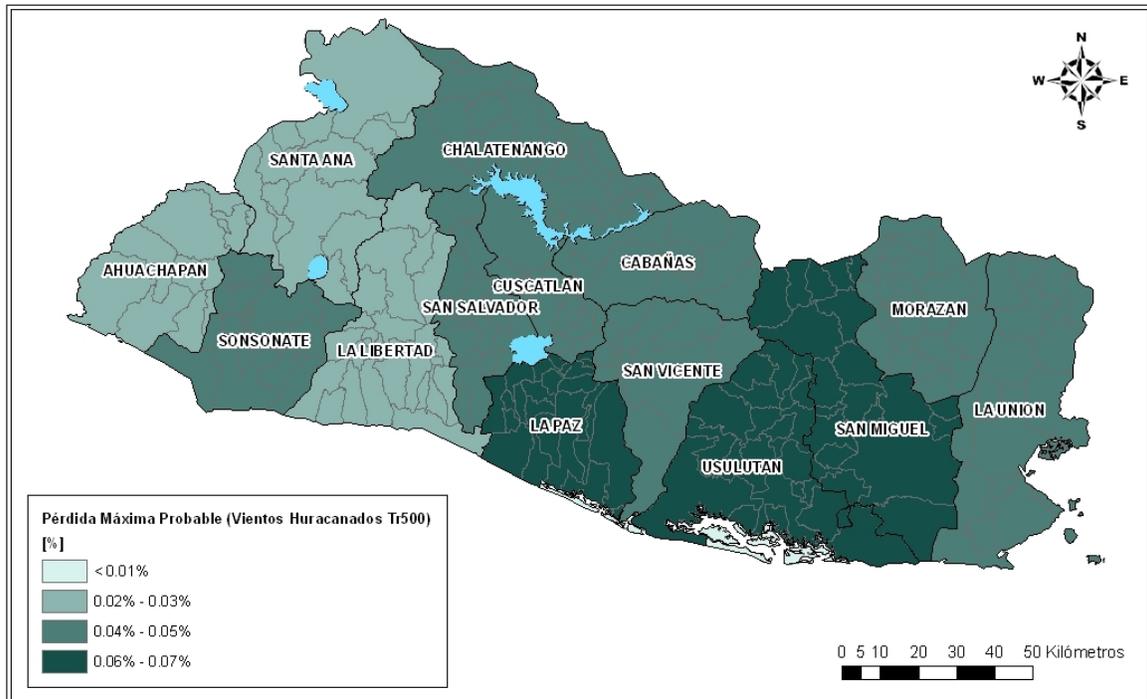
**Figura 4-10**  
*Distribución geográfica de AAL (valor) por viento y por municipio*



**Figura 4-11**  
*Distribución geográfica de AAL (‰) por viento y por municipio*



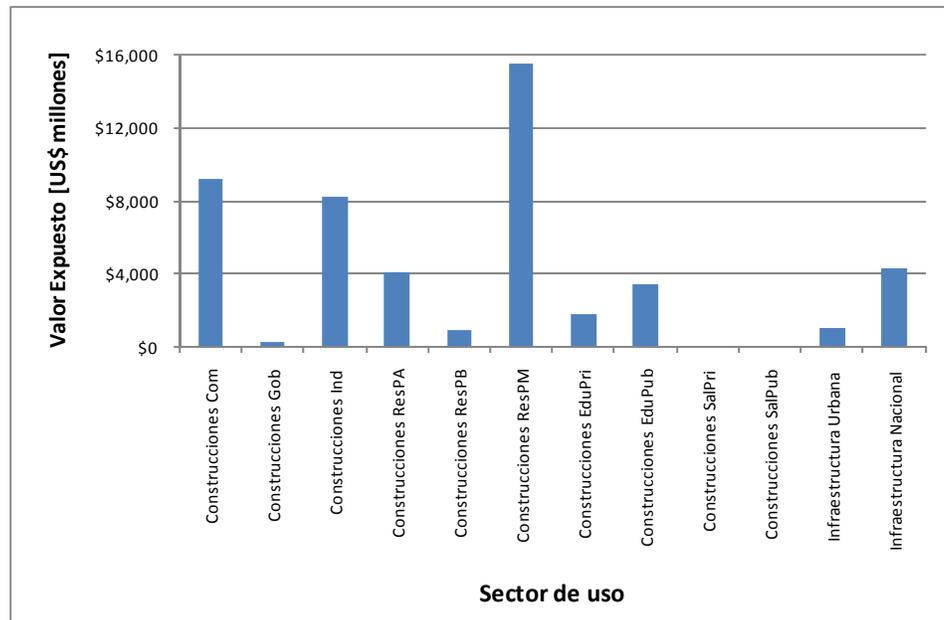
**Figura 4-12**  
*Distribución geográfica de PML (valor) por viento y por departamento*



**Figura 4-13**  
*Distribución geográfica de PML (%) por viento y por departamento*

### 4.5.2 Comparación de pérdidas por sector

La Figura 4-14 presenta la comparación de los valores expuestos por sector a nivel del país.



**Figura 4-14**  
*Valores expuestos por sectores*

La Figura 4-15 totaliza la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los sectores de uso y para todo el país en forma agregada.

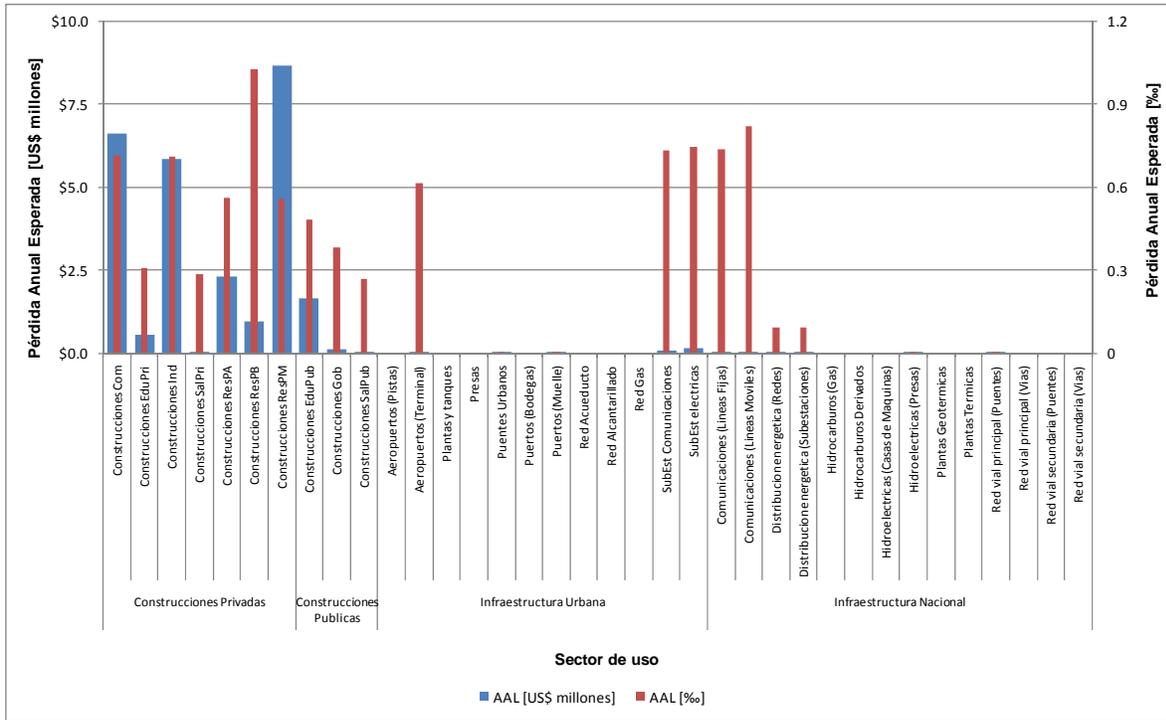


Figura 4-15  
Valores de AAL por viento y sectores

Por otro lado y en forma más resumida, la Figura 4-16 presenta los resultados equivalentes a la totalización de los resultados para los tres sectores de uso principales que corresponden a construcciones urbanas, infraestructura urbana e infraestructura nacional.

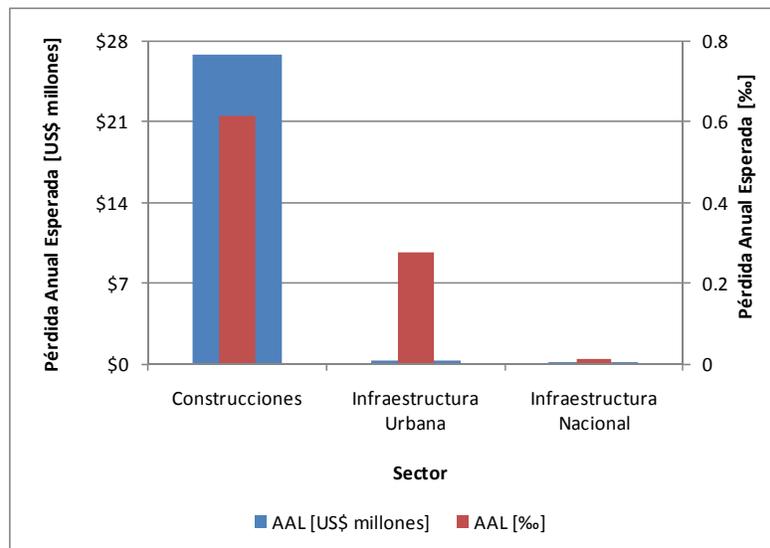


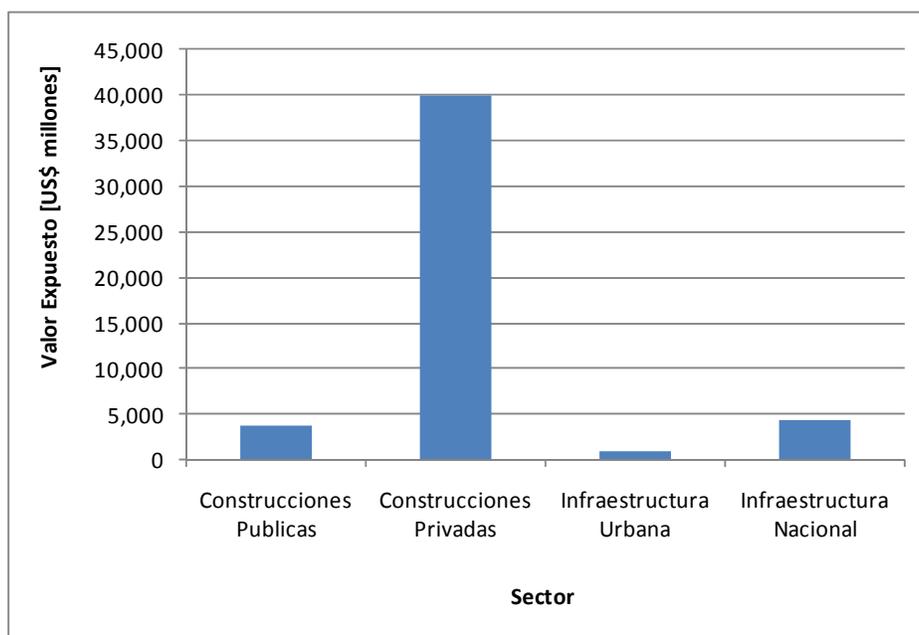
Figura 4-16  
Resumen de distribución de valores de AAL por viento y por sectores

### 4.5.3 Pérdida máxima probable para sectores público y privado

Para evaluar la pérdida máxima probable para los sectores público y privado es necesario realizar análisis para cada uno de los portafolios que se desee analizar, ya que los resultados de este tipo de análisis dependen de la distribución geográfica relativa de los valores expuestos.

El sector público incluye las construcciones urbanas públicas (salud, educación –cuando son del Estado– y gubernamentales) así como toda la infraestructura. Por su parte el sector privado incluye únicamente las construcciones residenciales, comerciales, industriales y las construcciones respectivas del sector salud y educación.

La Figura 4-17 presenta los valores expuestos a nivel de sector público y privado en el país.



**Figura 4-17**  
*Valores expuestos por sectores*

La Figura 4-18 y Figura 4-19 presentan la curva de PML para cada uno de estos sectores.

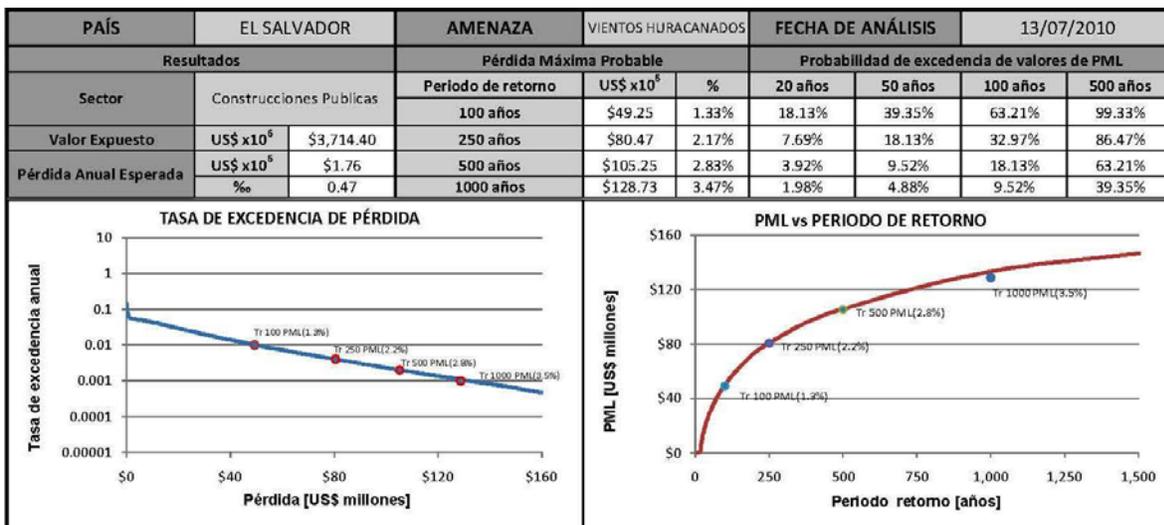


Figura 4-18

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por viento para construcciones públicas

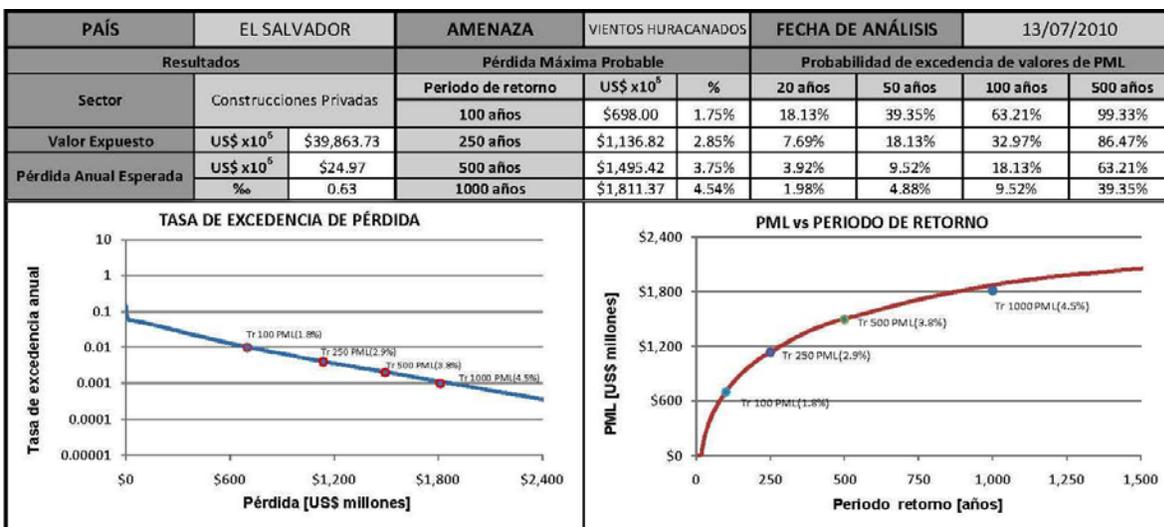


Figura 4-19

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por viento para construcciones privadas

#### 4.5.4 Pérdida máxima probable para la infraestructura nacional

Un análisis similar al anterior se realiza para el sector de infraestructura nacional teniendo en cuenta los siguientes análisis:

- Generación y distribución de energía
- Comunicaciones
- Hidrocarburos

Para cada uno de estos sectores se presentan los resultados de curvas de PML vs. periodo de retorno y resultados valores globales de AAL en valor y en millar. La Figura 4-20 a la Figura 4-22 resumen estos resultados. En el Anexo ERN-CAPRA-T3.3-3 se presentan los resultados para los demás sectores.

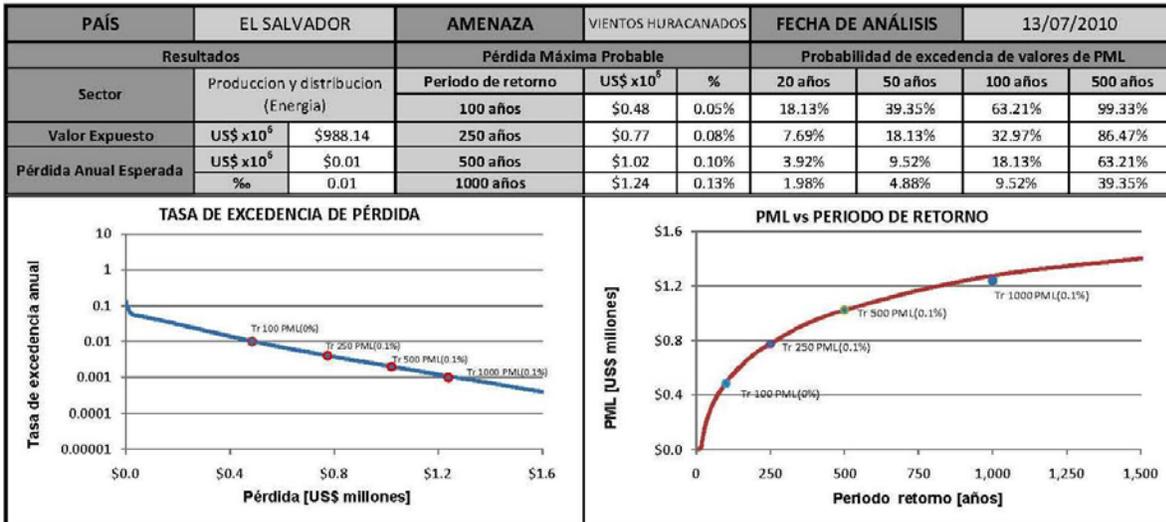


Figura 4-20  
Curva de excedencia de pérdidas y de PML por viento para sector energía

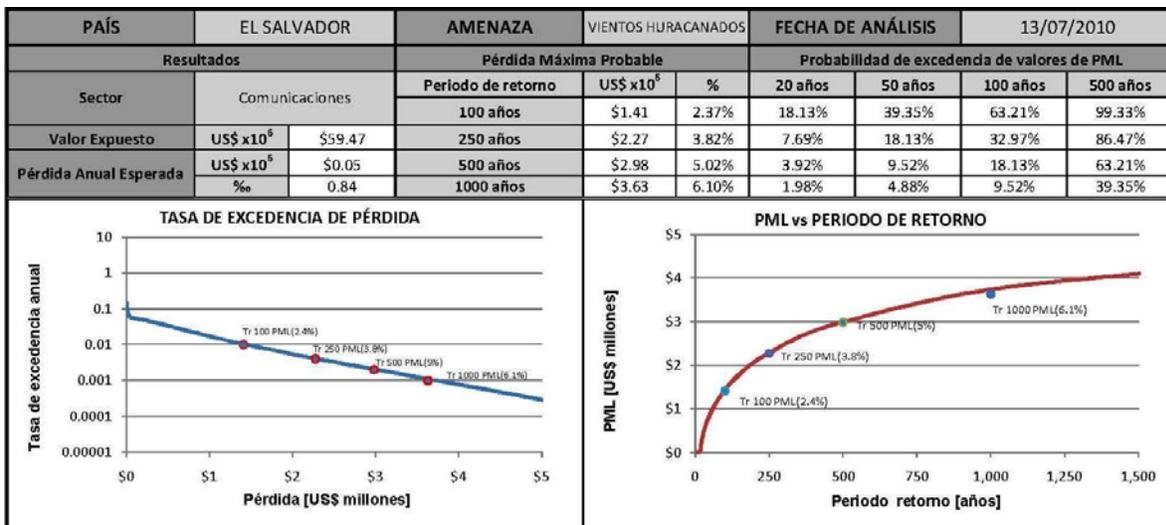


Figura 4-21  
Curva de excedencia de pérdidas y de PML por viento para sector comunicaciones

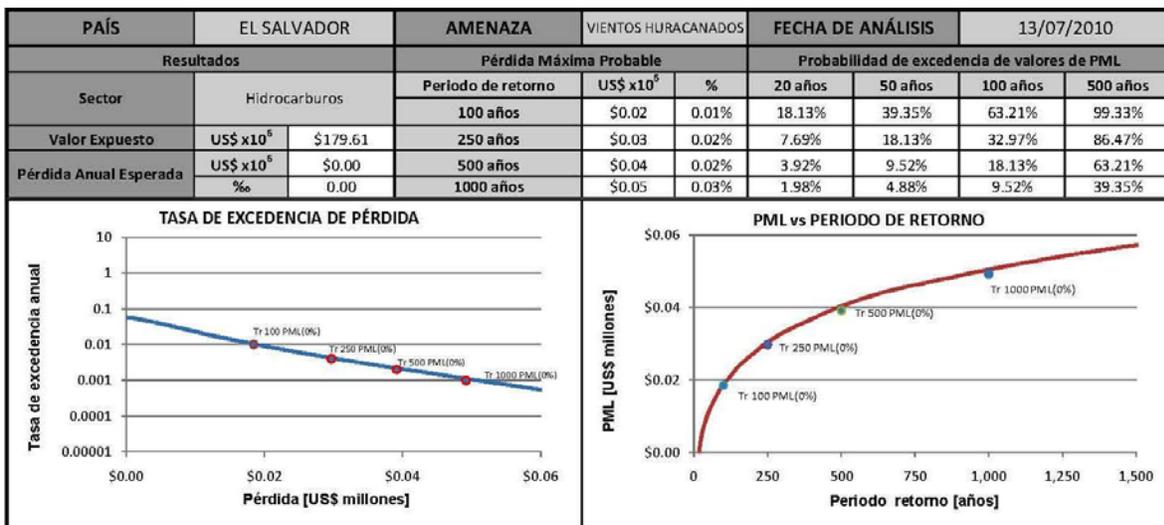


Figura 4-22  
Curva de excedencia de pérdidas y de PML por viento para sector de hidrocarburos

## 5 Comparación de resultados de riesgo

### 5.1 Pérdida anual esperada y pérdida máxima probable

Con base en los resultados presentados en los capítulos anteriores, la Tabla 5-1 resume los resultados a nivel del país para un análisis comparativo de riesgo por terremoto y huracán.

Tabla 5-1  
Comparación de resultados de AAL y PML por terremoto y viento huracanado

Resultados					
Amenaza		Sismo		Huracán	
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$48,941.48			
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$593.24	\$27.05		
	‰	12.12	0.55		
PML					
Periodo retorno		Pérdida			
años		US\$ x10 <sup>6</sup>	%	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50		\$2,814.32	5.75%	\$459.42	0.94%
100		\$4,018.91	8.21%	\$763.39	1.56%
250		\$5,805.90	11.86%	\$1,220.74	2.49%
500		\$7,387.06	15.09%	\$1,594.18	3.26%
1000		\$9,240.16	18.88%	\$1,946.40	3.98%

### 5.2 Pérdida Anual Esperada por Departamento

La Figura 5-1 presenta las pérdidas anuales esperadas en forma comparativa para terremoto y viento huracanado para cada uno de los departamentos.

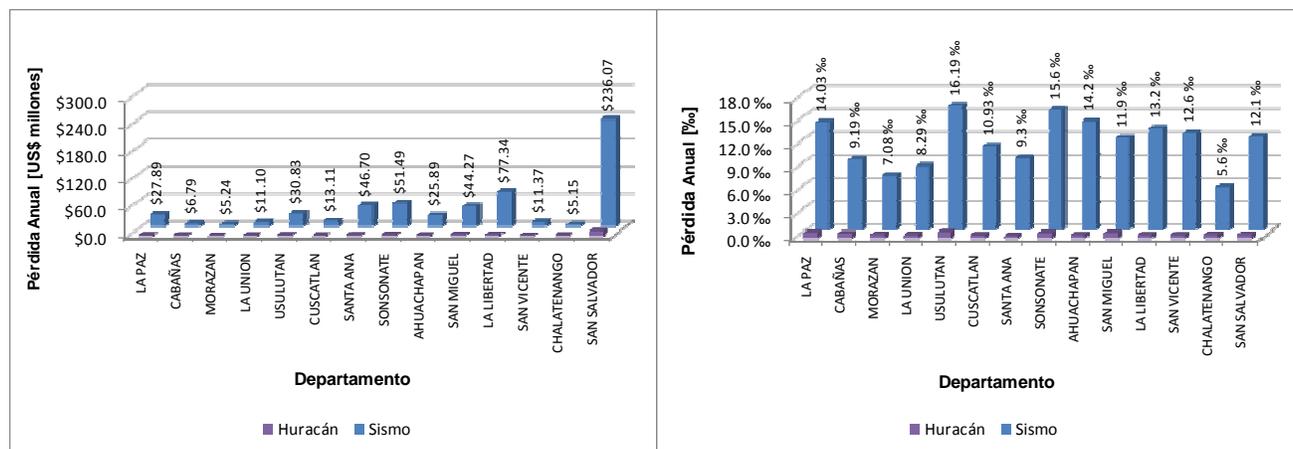


Figura 5-1  
Valores de AAL para terremoto y viento para cada uno de los departamentos

### 5.3 Pérdida Anual Esperada por Sector

La Figura 5-2 presenta las pérdidas anuales esperadas en forma comparativa para terremoto y viento huracanado para los diferentes sectores

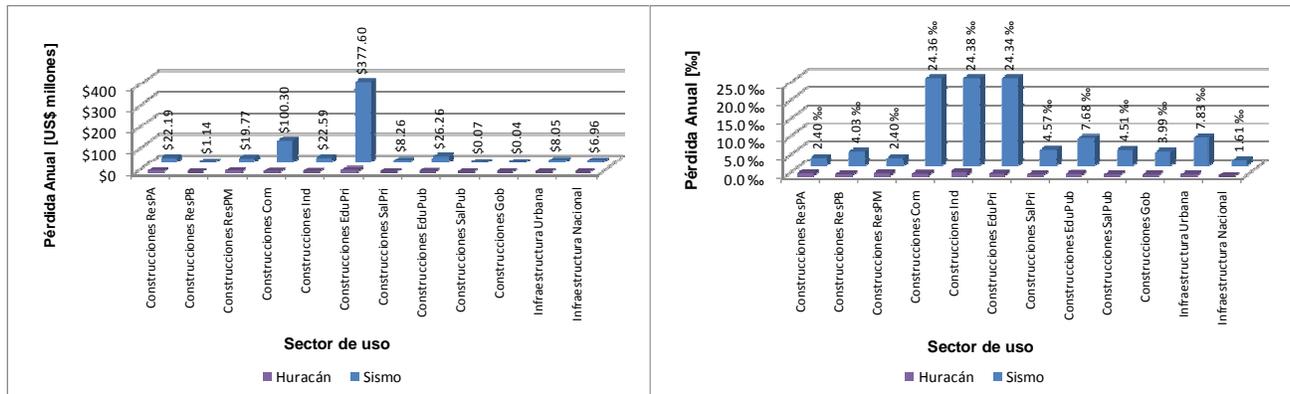


Figura 5-2

Valores de AAL para terremoto y viento huracanado para los diferentes sectores

### 5.4 Pérdida Anual Esperada por Sectores Público y Privado

La Figura 5-3 presenta las pérdidas anuales esperadas en forma comparativa para terremoto y viento huracanado para cada uno de los sectores público y privado.

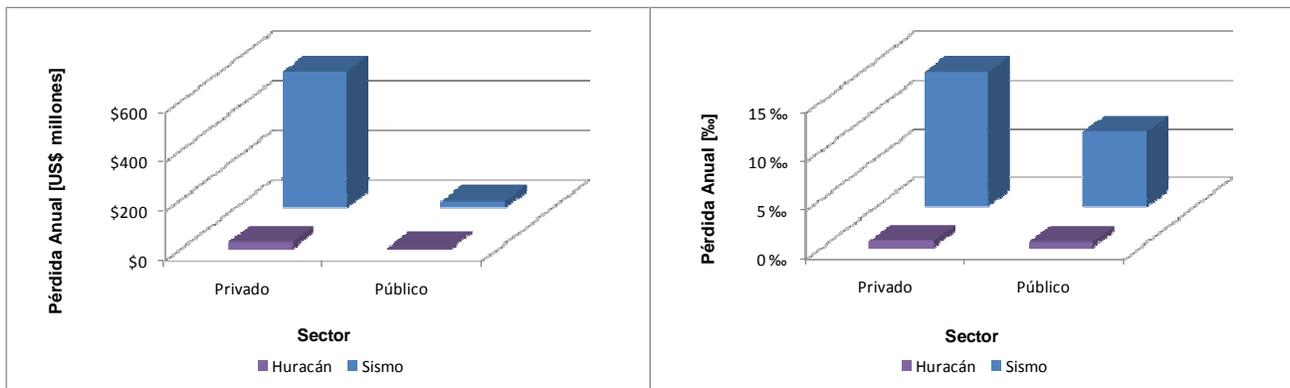


Figura 5-3

Valores de AAL para terremoto y viento huracanado para sectores público y privado

### 5.5 Pérdida Máxima Probable por Departamento

La Figura 5-4 muestra los valores comparativos de PML por departamento para los eventos de terremoto y viento huracanado.

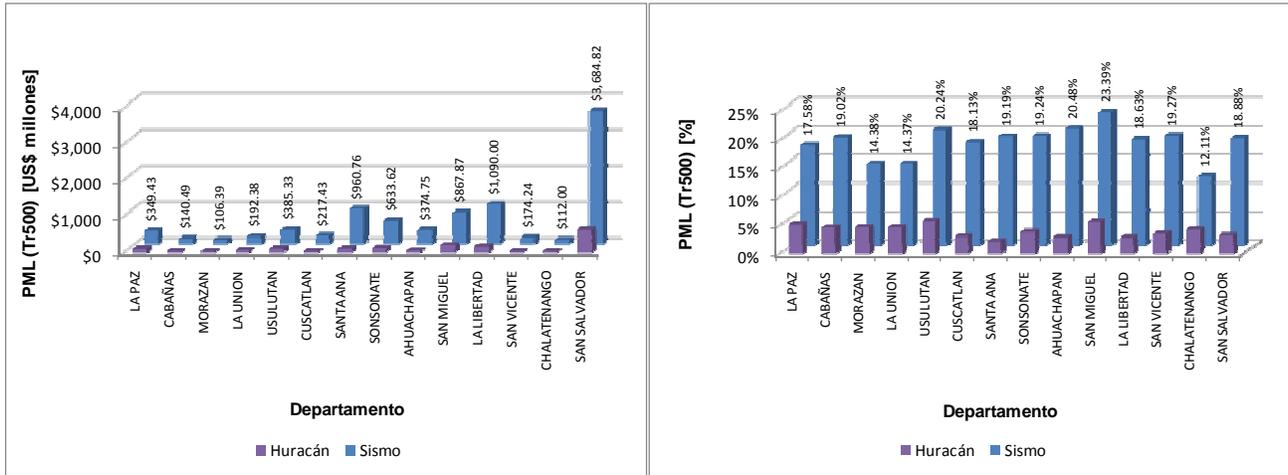


Figura 5-4  
Valores de PML para terremoto y viento huracanado por departamento

## 6 Referencias

---

- NORSAR et. al. Proyecto regional RESIS II – Evaluación de la Amenaza sísmica en Centroamérica. 2008.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-T3.2. <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.
- Caracterización, Clasificación y Valoración de Elementos Expuestos. Informe ERN-CAPRA-T2.1. <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>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. ERN-Vulnerabilidad V1.0. 2010.
- IDEA. Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. En: <http://idea.unalmzl.edu.co>. 2005

---

**ANEXO ERN-CAPRA-T3.3-1**  
**Información Geográfica Disponible**

---

---

**ANEXO ERN-CAPRA-T3.3-2**  
**Resultados por Departamento**

---

---

**ANEXO ERN-CAPRA-T3.3-3**  
**Resultados por Sector**

---