



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
DE CAMINS, CANALS I PORTS



Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería

Programa de doctorado: Análisis estructural

**LA CURVA HIBRIDA DE RIESGO:
ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y PROSPECTIVO DEL RIESGO POR FENÓMENOS
NATURALES**

Tesis doctoral presentada para optar al grado de doctor por la
Universitat Politècnica de Catalunya

Autor:

César Augusto Velásquez Villada

Directores:

Dr. Martha Liliana Carreño

Dr. Alex H. Barbat

Dr. Omar D. Cardona

Barcelona, Noviembre de 2015

**LA CURVA HIBRIDA DE RIESGO:
ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y PROSPECTIVO DEL RIESGO POR FENÓMENOS
NATURALES**

Autor:

César Augusto Velásquez Villada

DEDICATORIA

À Loulou et Mateo

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

A los directores de esta tesis, los profesores Alex Barbat, Liliana Carreño y Omar Dario Cardona por su interés, consejos, conocimiento y paciencia.

A los compañeros de trabajo en Bogotá por su apoyo. A Miguel Mora por sus comentarios durante la elaboración del modelo de exposición.

A Mario Salgado por sus comentarios durante la elaboración del modelo de amenaza sísmica y su esfuerzo en la elaboración y presentación del artículo del índice de riesgo sísmico de Medellín.

A Julio Serje por permitirme un completo acceso al que podría ser su mayor proyecto (sin incluir proyectos familiares), la plataforma DesInventar, la cual ha estado desarrollando por más de 20 años. Esta colaboración me ha permitido simplificar el proceso de análisis de los registros de la base de datos.

A Andrew Maskrey por sus muchas observaciones y sugerencias durante el desarrollo de la metodología propuesta.

A los colegas del despacho por su amistad, apoyo y confianza. A Ester, Fermín, Mabel, Matías, Joan, Cristian, Ernesto, Alex, Miguel, Gabriel y Jairo.

A todos mis amigos y A todas aquellas personas que no he nombrado, lamento no nombrarlos individualmente, me han ayudado a llevar las largas horas de trabajo y los recordaré siempre.

El autor agradece especialmente a la beca “Bell Scholarships”, del programa para la gestión del riesgo “Paul C. Bell, Jr. Phase V”, otorgada por el “Latin American and Caribbean Center of Florida International University” (LACC/FIU), la cual contó con el apoyo de “U.S. Agency for International Development” (USAID), y del “Bureau for Democracy, Conflict, and Humanitarian Assistance, Office of U.S Foreign Disaster Assistance” (DCHA/OFDA). También a Juan Pablo Sarmiento, Richard Olson y Ligia Perez por su apoyo y permanente interés.

Esta tesis tuvo el apoyo de los siguientes proyectos:

- Modelación Probabilista de Riesgos Naturales a Nivel Global: La Curva Híbrida de Excedencia de Pérdidas. Desarrollo Metodológico e Implementación de Casos de Estudio Fase 1A: Colombia, México y Nepal. Informe preparado para el GAR 2011. Ginebra, Suiza: EIRD/ONU.
- Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.
- Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos. Informe comparativo. Operación BID RG-T2174/ATN/MD-13414-RG.

RESUMEN

El riesgo debido a los fenómenos naturales es un pasivo contingente y, por lo tanto, un riesgo soberano para gobiernos, lo que hace necesario evaluar en una forma adecuada el potencial de pérdidas. A partir de dicha evaluación se podrán diseñar políticas y estrategias que permitan reducir, retener y transferir el riesgo de desastres de manera efectiva. Por todo ello, en esta tesis se propone una metodología para la evaluación del riesgo de desastres basada en dos aspectos diferentes. Por una parte está la evaluación empírica de las pérdidas, también llamada evaluación retrospectiva al emplear la información histórica disponible en las bases de datos de desastres para valorar las pérdidas producidas por eventos pasados y estimar el riesgo de una manera similar a la utilizada en la industria de seguros para vehículos, vida, etc. En este caso, lo ocurrido en el pasado se usa como predictor a futuro, al menos en el corto plazo, donde se pueden considerar estables las condiciones y tendencias. Por otra parte, se hace uso de evaluaciones probabilistas para estimar las pérdidas por futuros eventos mayores, incluso catastróficos, para los cuales la información histórica es limitada o insuficiente.

Entre las bases de datos públicas de desastres naturales se ha seleccionado DesInventar, cuyo registro continuo de cualquier tamaño de eventos permite disponer de un gran número de registros de eventos menores; esto es de especial importancia, ya que estos eventos menores son usualmente ignorados debido a que individualmente causan pocas pérdidas económicas. Sin embargo, el impacto acumulado de los eventos menores, aparte de tener efectos notables sobre los medios de sustento de las personas más desfavorecidas, puede tener un efecto importante sobre la economía y la sostenibilidad fiscal de áreas urbanas, regiones o naciones. Los resultados de esta evaluación no pueden ser obtenidos de otra manera debido a la falta de modelos regionales para los desastres menores y a la alta susceptibilidad de los resultados a las variables locales. Por lo tanto, es posible obtener resultados hasta ahora desconocidos, los cuales pueden ser un insumo muy valioso para los tomadores de decisiones.

En esta tesis se ha desarrollado una metodología para la evaluación del riesgo de desastre, en la cual se ha considerado el efecto acumulado de los desastres menores pero frecuentes, junto con el efecto potencial de los desastres catastróficos, proporcionando una visualización y un entendimiento muy completo del riesgo mediante la construcción de una curva “híbrida” de excedencia de pérdidas. Para ello, la metodología desarrollada valora las consecuencias físicas de los eventos causados por fenómenos naturales y que han sido recogidos en las bases de datos de desastres para estimar el riesgo de manera retrospectiva. Se utiliza también una metodología probabilista prospectiva del riesgo, mediante la cual se estiman los posibles efectos que sufre una región cuando un desastre catastrófico ocurra. Asimismo, se desarrolló una metodología que integra los componentes retrospectivo y prospectivo de la evaluación del riesgo en una región que permite obtener un enfoque integral del riesgo por desastres. Finalmente se aplicó la metodología a un gran número de países entre los que se pueden mencionar Bolivia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nepal, Perú y Venezuela.

ABSTRACT

The natural hazard risk is a contingent liability and, thus, a sovereign risk for national governments and, therefore, it is important to assess properly the potential losses in order to design suitable policies and strategies for risk reduction, retention and transfer. In this thesis, a disaster risk assessment methodology is proposed based on two different approaches. On the one hand, the empiric estimation of losses, using information available from national disaster databases, which allows the analysis of the losses produced by past events and assessing the natural hazard risk in a similar way as the one employed by the insurance industry for vehicles, life, etc. (i.e. considering, in the short term, that the conditions and trends are maintained) is performed. On the other hand, probabilistic evaluations to assess losses for greater (even catastrophic) events, for which historical information usually are not available are used.

Among the existing public global disaster databases, we selected DesInventar, which contains a large number of records corresponds to small-scale events; this aspect is of special interest as these small events are often ignored for the reason that, individually, they only stroke a few assets accounting for very low economic losses. However, their accumulated effect, in addition to be notable for the livelihood of low-income people, can have a substantial impact over the economic and fiscal sustainability of urban areas, regions or countries. The results of this evaluation cannot be obtained otherwise, especially considering the difficulties involved in assessing risk for those small disasters, including the lack of general models and the elevated susceptibility of the results to local variables. Therefore, the approach can provide answers so far unavailable which are valuable for stakeholders and decision makers.

This doctoral thesis develops a methodology for disaster risk evaluation which involves the cumulative effect of minor but frequent disasters, along with the potential impact of catastrophic disasters. This provides a complete view and understanding of risk by means of the assemblage of a "hybrid" loss exceedance curve. For this purpose, the developed methodology performs price estimation

for the physical consequences of events caused by natural phenomena and which have been collected in a database to estimate the disaster risk retrospectively. A prospective probabilistic risk methodology is also used, in which the possible effects that suffers a region when a catastrophic disaster strikes are estimated. Finally, a methodology that integrates retrospective and prospective components of risk assessment in a region is developed, what allows an integrated approach to disaster risk. The methodology is applied to a large number of countries such as: Bolivia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nepal, Peru and Venezuela.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1

Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Motivación	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Estructura de la tesis	5

CAPÍTULO 2

Evaluación del riesgo de desastres debido a fenómenos naturales.....	9
2.1 Conceptos.....	9
2.1.1 Riesgo	9
2.1.2 Exposición.....	11
2.1.3 Amenaza por fenómenos naturales	14
2.1.4 Vulnerabilidad	18
2.1.5 Incertidumbre	20
2.2 Modelación probabilista del riesgo	21
2.2.1 Amenaza.....	21
2.2.2 Vulnerabilidad	25
2.2.3 Riesgo	26
2.3 Métricas del riesgo.....	30
2.3.1 La curva de excedencia de pérdidas	30
2.3.2 La pérdida anual esperada.....	31
2.3.3 Probabilidad de excedencia de valores de pérdida	33
2.3.4 La pérdida máxima probable.....	33
2.4 La plataforma CAPRA.....	36

CAPÍTULO 3

Metodología propuesta de evaluación híbrida del riesgo	41
3.1 Evaluación retrospectiva del riesgo.....	42
3.1.1 Introducción.....	43

3.1.2	Bases de datos de desastres	46
3.1.3	Modelo de estimación de pérdidas económicas	52
3.1.4	Metodología propuesta para el análisis retrospectivo del riesgo de desastres.....	61
3.1.5	Resultados esperados.....	69
3.1.6	Comentarios	73
3.2	Evaluación prospectiva de riesgo	73
3.2.1	Introducción.....	73
3.2.2	Modelo de exposición propuesto	74
3.2.3	Vulnerabilidad	79
3.2.4	Metodología	79
3.2.5	Resultados esperados.....	80
3.3	Evaluación híbrida de riesgo	82

CAPÍTULO 4

Caso de estudio: Colombia	87
4.1 Información general	87
4.2 Desastres históricos	90
4.3 Evaluación retrospectiva del riesgo.....	91
4.3.1 Bases de datos de Desastres.....	92
4.3.2 Modelo de costos.....	93
4.3.3 Aplicación de la metodología.....	94
4.3.4 Resultados.....	106
4.4 Evaluación prospectiva del riesgo	110
4.4.1 Modelo de amenaza por sismo	111
4.4.2 Modelo de exposición física.....	116
4.4.3 Tipologías constructivas	138
4.4.4 Vulnerabilidad	138
4.4.5 Resultados.....	140
4.5 Evaluación Híbrida del riesgo	144
4.5.1 Integración de las curvas de excedencia de pérdidas.....	144

CAPÍTULO 5

Otros casos de estudio	149
5.1 Evaluaciones retrospectivas	150
5.2 Evaluaciones de curva híbrida.....	155

CAPÍTULO 6

Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	163
---	-----

6.1	Conclusiones sobre la metodología propuesta.....	163
6.2	Conclusiones sobre los resultados obtenidos.....	165
6.3	Futuras líneas de investigación	166

REFERENCIAS

Referencias	169
-------------------	-----

ANEXOS

Anexo 1 Publicaciones	187
Anexo 2 Siglas.....	189
Anexo 3 Glosario de Términos	191
Anexo 4 Uso del módulo LEC en la plataforma DesInventar.net	201
Anexo 5 Otros resultados obtenidos	207

Listado de Figuras

Figura 2-1 Tasas de excedencia de fuentes para el modelo de sismicidad de Poisson	23
Figura 2-2 Curva de excedencia de pérdidas	31
Figura 2-3 Evaluación de la pérdida anual esperada	32
Figura 2-4 Representación probabilista de la vulnerabilidad.....	39
Figura 3-1 Mapa de amenaza por inundación en Europa.	45
Figura 3-2 Relación entre el costo por construcción y el PIB per cápita, considerando 93 países.....	58
Figura 3-3 Relación entre el costo por construcción y el PIB per cápita, considerando 16 países	58
Figura 3-4 Costo promedio de reconstrucción de vías en varias regiones del mundo.	61
Figura 3-5 Comparación entre el número de registros de las bases de datos de desastres DesInventar y EM-DAT	63
Figura 3-6 Número acumulado de eventos de varias bases de datos DesInventar.....	64
Figura 3-7 Porcentaje de municipios según nivel de amenaza.....	69
Figura 3-8 Comparación según el periodo de retorno del costo económico de los desastres de las diferentes categorías de fenómenos naturales.....	70
Figura 3-9 Comportamiento histórico de pérdidas económicas por desastres.	70
Figura 3-10 Pérdidas económicas por rango de tiempo para todas las categorías.....	71
Figura 3-11 Recurrencia de pérdidas económicas por categoría y para el total.....	72
Figura 3-12 Curva de excedencia de pérdidas obtenida de la evaluación prospectiva.	81
Figura 3-13 Curvas de excedencia de pérdidas.....	83
Figura 3-14 Curvas de excedencia de pérdidas.....	84
Figura 3-15 Curva Híbrida de excedencia de pérdidas.....	84
Figura 4-1 Municipios de Colombia.	88
Figura 4-2 Departamentos de Colombia.	89

Figura 4-3 Número de registros DesInventar por año y acumulados.....	93
Figura 4-4 Número de registros de la base DesInventar para el periodo 1970-2011	95
Figura 4-5 Heridos reportados.....	97
Figura 4-6 Muertos reportados.....	97
Figura 4-7 Viviendas averiadas reportadas	98
Figura 4-8 Viviendas destruidas reportadas	98
Figura 4-9 Escuelas afectadas reportados	98
Figura 4-10 Centros de salud afectados reportados	99
Figura 4-11 Kilómetros de vías dañadas reportados.....	99
Figura 4-12 Número de registros consecutivos.	100
Figura 4-13 Porcentaje acumulado de registros consecutivos.	101
Figura 4-14 Número de registros consecutivos	102
Figura 4-15 Porcentaje acumulado de registros consecutivos.....	102
Figura 4-16 Número de registros por categoría de eventos antes de la agrupación.....	104
Figura 4-17 Número de registros por categoría después de agrupación.....	105
Figura 4-18 Porcentaje de municipios según nivel de amenaza.....	107
Figura 4-19 Porcentaje de la población que habita en municipios con determinado nivel de amenaza.	107
Figura 4-20 Municipios afectados por deslizamientos.	108
Figura 4-21 Municipios afectados por fenómenos hidrometeorológicos.....	108
Figura 4-22 Curvas de excedencia de pérdidas, por categoría.	109
Figura 4-23 Curva de excedencia de pérdidas para todos los fenómenos naturales.....	109
Figura 4-24 Mapa global de amenaza sísmica.....	111
Figura 4-25 Mapa de trayectorias de huracanes.	111
Figura 4-26 Principales placas tectónicas.	112
Figura 4-27 Eventos sísmicos desde 1970 con magnitud superior a 3 cerca a Colombia continental.	113
Figura 4-28 Proyección de fallas en superficie.....	114
Figura 4-29 Mapa de amenaza uniforme para 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.....	115
Figura 4-30 Comparación de valores de aceleración máxima en roca	116
Figura 4-31 Mapa de población municipal para 2012.	118
Figura 4-32 Porcentaje de población de las cabeceras municipales que vivía en 2012 bajo la línea de pobreza.	121
Figura 4-33 Porcentaje de la población del resto del municipio que en 2012 vivía bajo la línea de pobreza.	122
Figura 4-34 Total estimado de empleados del gobierno para las cabeceras municipales	126

Figura 4-35 Estudiantes de escuela pública en la cabecera municipal.	129
Figura 4-36 Estudiantes de escuela pública en el resto del municipio.	130
Figura 4-37 Número de camas, total municipal.	132
Figura 4-38 Número de camas por cada 1,000 habitantes	133
Figura 4-39 Valor expuesto municipal total como fracción del total nacional	135
Figura 4-40 Valor expuesto municipal total.....	136
Figura 4-41 Comparación del valor expuesto por sector	137
Figura 4-42 Curvas de vulnerabilidad.	139
Figura 4-43 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas.....	142
Figura 4-44 Comparación de LEC para el portafolio fiscal de Colombia.....	142
Figura 4-45 Comparación de los valores de PML para el portafolio fiscal de Colombia	143
Figura 4-46 Comparación de la AAL para el portafolio fiscal de Colombia.....	144
Figura 4-47 Curvas de excedencia de pérdidas retrospectiva, prospectiva y GAR.	145
Figura 4-48 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia.	146
Figura 5-1 Costo promedio anual (USD) para los países analizados en GAR13.....	151
Figura 5-2 Costo promedio anual en porcentaje de la formación bruta de capital fijo de los países analizados en GAR13	151
Figura 5-3 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Argentina.	152
Figura 5-4 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Chile	153
Figura 5-5 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Jamaica	153
Figura 5-6 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Nicaragua	154
Figura 5-7 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Panamá.....	154
Figura 5-8 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Bolivia.....	156
Figura 5-9 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Costa Rica	156
Figura 5-10 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Ecuador.....	157
Figura 5-11 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para El Salvador	157
Figura 5-12 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Guatemala.....	158
Figura 5-13 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Honduras	158
Figura 5-14 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para México.....	159
Figura 5-15 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Nepal	159
Figura 5-16 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Perú.....	160
Figura 5-17 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Venezuela	160

Listado de Tablas

Tabla 2-1 Principales desastres tectónicos	15
Tabla 2-2 Principales desastres causados por deslizamientos	16
Tabla 2-3 Principales desastres causados por actividad volcánica	16
Tabla 2-4 Principales desastres causados por inundación	17
Tabla 2-5 Principales desastres causados por huracanes.....	18
Tabla 2-6 Principales desastres por sequía	18
Tabla 3-1 Principales campos de la base de datos EM-DAT.....	48
Tabla 3-2 Países en los cuales ha sido implementado el DesInventar	50
Tabla 3-3 Principales campos de la base de datos DesInventar.....	51
Tabla 3-4 Valores mínimos de área y precio de vivienda social en varios países de América Latina	56
Tabla 3-5 Área estimada de una escuela básica.....	59
Tabla 3-6 Área estimada de un centro de salud básico	60
Tabla 3-7 Corrección por inflación de valores en USD del 2000	60
Tabla 3-8 Costo promedio por km de reconstrucción de vías.....	61
Tabla 3-9 Comparación de las bases de datos por número de registros y periodo	62
Tabla 3-10 Categorías de fenómenos naturales a emplear	65
Tabla 3-11 Relación de causas y categorías.....	66
Tabla 3-12 Criterios de agrupación temporal	67
Tabla 4-1 Número de municipios por departamento	90
Tabla 4-2 Principales desastres de Colombia, 1979-2004.	91
Tabla 4-3 Comparación de las bases de datos de desastres por número de registros y periodo.....	92
Tabla 4-4 Costo promedio por km de reconstrucción de vías para América Latina.....	93
Tabla 4-5 Modelo de costos propuesto	94
Tabla 4-6 Impacto total por causas y categorías de eventos para el periodo de análisis.	96
Tabla 4-7 Criterios de agrupación por categoría de eventos	103
Tabla 4-8 Efectos acumulados de las diferentes categorías de eventos antes de la agrupación	103
Tabla 4-9 Criterios de agrupación entre categorías de eventos	104

Tabla 4-10 Efectos acumulados según las diferentes categorías de eventos después de la agrupación	104
Tabla 4-11 Pérdidas económicas de los eventos ocurridos en el periodo 1970-2011	105
Tabla 4-12 Niveles de amenaza	106
Tabla 4-13 Número de eventos sísmicos desde 1970 con Magnitud superior a 3.	112
Tabla 4-14 Proyección de población por departamentos para 2012.	118
Tabla 4-15 Niveles de complejidad propuestos	119
Tabla 4-16 Porcentaje de población que vivía bajo la línea de pobreza en 2012.	120
Tabla 4-17 Población ocupada por departamento	123
Tabla 4-18 Porcentaje de la población empleada, por regiones.	124
Tabla 4-19 Ocupación y empleados del gobierno, total nacional. Octubre a Diciembre de 2012.	124
Tabla 4-20 Ocupación y empleados del gobierno para las principales áreas urbanas. Octubre a Diciembre de 2012.	124
Tabla 4-21 Total de población ocupada y empleados del gobierno estimados, por departamento	125
Tabla 4-22 Número de alumnos matriculados por sector – Año 2011.	127
Tabla 4-23 Número de alumnos matriculados por zona – Año 2011.....	128
Tabla 4-24 Camas hospitalarias por departamento – Año 2010.	131
Tabla 4-25 Valores de densidad constructiva	134
Tabla 4-26 Corrección del costo de la vivienda en función del nivel de complejidad.....	134
Tabla 4-27 Factor para la valoración de los componentes del proxy	134
Tabla 4-28 Comparación del valor expuesto por sector.....	137
Tabla 4-29 Sistemas constructivos del WHE.....	138
Tabla 4-30 Pérdidas económicas esperadas para el portafolio fiscal nacional colombiano	141
Tabla 4-31 Pérdidas anuales esperadas para Colombia, según análisis.....	146
Tabla 5-1 Resumen del costo promedio anual.	150
Tabla 5-2 Pérdidas anuales esperadas según análisis retrospectivo.	152
Tabla 5-3 Pérdidas anuales esperadas para países con análisis de curva híbrida.	155

1.1 Antecedentes

Los desastres son procesos sociales y ambientales generados por la manifestación física de fenómenos naturales, en lugares donde las condiciones de vulnerabilidad y falta de resiliencia son propicias. Esto es mejor resumido como: *“El evento es natural, pero el desastre es humano”*, es decir, sin la presencia de edificaciones humanas vulnerables no habría un desastre. Estos interrumpen el desarrollo normal de la sociedad y requieren además, la desviación inmediata de recursos para su atención. El impacto causado por el desastre es función de la energía liberada durante el evento y de las condiciones de vulnerabilidad presentes; es decir, el tamaño del desastre ha sido condicionado por planes de desarrollo urbano, normativas y buenas prácticas constructivas, políticas de prevención, capacidad de la red de salud pública, sistemas de alarma temprana, y planes de atención y respuesta.

La vulnerabilidad es de especial importancia en el caso de los desastres menores, donde la intensidad del fenómeno es baja o moderada; por el contrario, en el caso de los grandes desastres, la vulnerabilidad rápidamente se saturada debido a la alta intensidad del fenómeno, por lo cual, su importancia relativa es menor. La fragilidad social, física y económica de una comunidad, son factores que contribuyen a la falta de capacidad de las comunidades para adaptarse, resistir y recuperarse de los desastres (Cardona 2004, Carreño 2006, Carreño et al 2007a y 2007b).

Año a año, el costo físico y social de los desastres naturales se ha ido incrementando, debido entre otros factores, al crecimiento de la población, la migración urbana, la pobreza, la carencia de normativas, el uso de técnicas constructivas inadecuadas y el cambio climático. Dicho costo tiene profundas consecuencias a nivel local y nacional; ya que se destruyen viviendas, activos productivos y empleos, lo cual impide una rápida recuperación de la actividad normal de la comunidad afectada, se prolonga y profundiza la pobreza existente y se la hace dependiente de ayudas externas. En casos donde el impacto es mayor, se puede requerir la movilización imprevista de fondos y recursos para las actividades de atención de la emergencia y de reconstrucción; fondos que probablemente sean desviados de proyectos de infraestructura o provengan de préstamos internacionales y que pueden comprometer el desarrollo macroeconómico del país afectado, ya que a su vez el mecanismo productivo con el cual se genera riqueza ha sido dañado.

Para esta tesis el riesgo de desastres se ha dividido en dos componentes, el primero llamado “riesgo extensivo”, que se deriva de los desastres menores que son muy frecuentes (e.g. deslizamientos, inundaciones). En cada ocurrencia afectan usualmente un bajo número de elementos expuestos y producen comparativamente, pocos daños. El segundo componente es el llamado “riesgo intensivo”, que se deriva de los desastres extremos que son poco frecuentes y de efectos usualmente catastróficos (e.g. huracanes, sismos, tsunamis). Estos eventos pueden impactar de manera simultánea varios centros urbanos y un número importante de elementos expuestos, produciendo pérdidas muy grandes sobre bienes e infraestructura (e.g. Japón 1995, Chile 2010, Huracán Sandy 2012, Japón 2011). Este tipo de situación puede desbordar la capacidad local (y en ocasiones nacional) de los organismos de respuesta ante emergencias.

El riesgo extensivo ha sido frecuentemente ignorado en los ámbitos administrativos, debido al reducido impacto que tienen los eventos que lo caracterizan. Sin embargo, los pequeños desastres que conforman el riesgo extensivo, incrementan la vulnerabilidad social, económica y ambiental de las comunidades afectadas; esto es, los pequeños desastres destruyen los medios de sustento, perpetúan la pobreza y reducen la capacidad de ahorro y desarrollo. Incluso si el riesgo extensivo es normalmente ignorado, cuando este es identificado tiene importantes implicaciones sociales y ambientales para los gobiernos. Aún más, si se logra calcular su efecto acumulado sobre la población, la economía y el medio ambiente es posible visualizar un panorama complejo y devastador, que hasta la fecha no ha sido parte importante de los programas de reducción, ni de manejo del riesgo de desastres. Aunque con un impacto

individual limitado, la naturaleza frecuente del fenómeno y su efecto acumulado pueden llevar al agotamiento de los recursos disponibles y afectar la capacidad de recuperación ante eventos futuros (CIMNE et al. 2011, UNISDR 2009, 2011a, 2013); aún más, el riesgo extensivo puede volverse riesgo intensivo, debido a la continua erosión de la capacidad de atención de los organismos de gestión (Marulanda 2013a).

Por otra parte, el riesgo intensivo es evaluado normalmente de manera puntual, para eventos catastróficos particulares y aunque con dicho ejercicio se obtienen resultados útiles para la reducción del riesgo de desastres (como planes de atención de emergencia, programas de mejoramiento de la infraestructura existente y políticas económicas para la recuperación post-desastre), no se reconoce la naturaleza incierta del fenómeno. Por lo que se hace necesario el uso de una metodología “prospectiva” y probabilista, la cual dé cuenta de las consecuencias de futuros eventos, para los cuales no existen registros.

El análisis prospectivo permite obtener el riesgo de los eventos poco frecuentes (e.g. sismos, huracanes) de potencial catastrófico. Este tipo de análisis es requerido debido a la carencia de información histórica, que describa las consecuencias que pueden causar los posibles eventos futuros y que en caso de ocurrir, pueden comprometer la estabilidad fiscal de la zona de estudio (Cardona et al. 2012a). El análisis prospectivo y probabilista del riesgo puede realizarse con una plataforma como CAPRA (CIMNE et al. 2010, Cardona et al. 2010b y 2012b), la cual evalúa los elementos expuestos y su vulnerabilidad ante diferentes amenazas naturales, considerando en todo momento las incertidumbres asociadas a los diferentes aspectos de los cuales depende el riesgo.

1.2 Motivación

Para evaluar los efectos del riesgo extensivo se hace necesario el uso de una metodología “retrospectiva”, que permita, con base en información histórica visualizar las tendencias de los diferentes fenómenos naturales. Esta metodología es necesaria dada la complejidad del problema de la modelación de los desastres menores, donde los posibles resultados obtenidos son altamente susceptibles a la calidad y detalle de la información local; es decir, la posibilidad de que un área se encuentre o no en riesgo y el nivel de dicho riesgo dependen de características locales difíciles de medir o son altamente susceptibles, en especial en estudios que abarcan la geografía de un país. Para la evaluación del riesgo además de la amenaza se requiere la definición de los elementos expuestos, lo cual en el caso de desastres menores requiere una localización y caracterización precisa. La metodología retrospectiva para la evaluación del

riesgo (Velásquez et al. 2014b), emplea una aproximación similar a la de la industria de los seguros, en la cual la información de años anteriores es estadísticamente procesada para obtener el valor que cada bien asegurado debe pagar (por ejemplo, en el caso del seguro automotor, se calcula una prima en función de la edad, género y experiencia del conductor, pero también se tiene en cuenta la marca, el modelo y otras características del vehículo).

Usando como insumo los resultados del análisis retrospectivo del riesgo, es posible definir la curva empírica de excedencia de pérdidas. Esta curva relaciona las pérdidas económicas observadas y la frecuencia con la que estas han ocurrido o han sido sobrepasadas. Considerando condiciones similares en el futuro (al menos en el futuro cercano), es posible estimar con qué frecuencia una pérdida económica podrá verse alcanzada o superada.

En esta tesis los resultados del análisis retrospectivo se combinan con los efectos esperados de un examen prospectivo y catastrófico para obtener la curva híbrida de excedencia de pérdidas (UN-ISDR 2011, 2013, Velásquez et al. 2011, 2014a). Al considerar un enfoque complementario, entre el riesgo extensivo y el riesgo intensivo, se busca llamar la atención de los gobiernos, de los organismos de planeación y de las instituciones de atención de emergencias, al ser conscientes del elevado costo que supone enfrentar día a día los desastres y no anticiparse a los mismos, mediante acciones que permitan reducir su exposición y vulnerabilidad. El hecho de incluir de una manera analítica, el costo de los pequeños desastres dentro del proceso de planeación territorial, permitirá influir en la forma en que estos son percibidos, así como también buscar los recursos económicos que permitan enfrentarlos o mitigarlos a priori y reducir el impacto de los mismos en la sociedad.

1.3 Objetivos

Para realizar una efectiva gestión del riesgo de desastres, se hace necesario inicialmente identificar y medir el riesgo, de forma que se puedan plantear las estrategias preventivas que permitan mitigarlo y definir los protocolos óptimos de respuesta y atención de las emergencias futuras. Dicho lo anterior, ***el objetivo general de la presente tesis es desarrollar una metodología para la evaluación del riesgo de desastres, en la cual se considere el impacto acumulado de los desastres menores pero frecuentes, junto con el impacto potencial de los desastres catastróficos, permitiendo una visualización y un entendimiento más completo del riesgo.*** Esta tesis sólo se centrará en los desastres ocasionados por fenómenos naturales, excluyendo desastres que puedan ser ocasionados por la acción directa del hombre, los cuales al deberse a comportamientos o actividades humanas, tienen

procesos de mitigación especiales y una afectación por lo general muy específica.

Los objetivos específicos de esta tesis son:

- Desarrollar una metodología que permita valorar las consecuencias físicas de los eventos que fueron causados por fenómenos naturales y han sido reportados en bases de datos de desastres. Este modelo permitirá valorar de manera sencilla y replicable el costo que han tenido eventos pasados sobre las comunidades afectadas.
- Desarrollar una metodología que permita estimar el riesgo de manera retrospectiva. Basándose en la metodología de valoración de eventos propuesta, será posible completar el registro de las pérdidas causadas por los eventos pasados. Con lo que será posible calcular la pérdida anual ocurrida en una región debido a los eventos menores y la curva de excedencia de pérdidas de los dichos eventos.
- Usar una metodología probabilista y prospectiva del riesgo, mediante la cual se puedan estimar los posibles efectos a los cuales estará sometida una región cuando un desastre catastrófico ocurra.
- Desarrollar una metodología que integre los componentes retrospectivo y prospectivo de la evaluación del riesgo en una región, y que permita obtener un enfoque integral del riesgo de desastres.
- Aplicar para Colombia la metodología desarrollada paso a paso, como un caso de ejemplo particular. Y presentar resultados disponibles de la metodología para otros países.

1.4 Estructura de la tesis

Este documento ha sido dividido en 6 capítulos. El capítulo 1, presenta los antecedentes, la motivación y los objetivos de la presente tesis, haciendo una breve descripción de las consecuencias de los eventos que causan los desastres, en particular los desastres menores.

El capítulo 2, hace una breve descripción de las amenazas por fenómenos naturales más comunes, incluyendo el impacto causado a nivel global por sus manifestaciones más catastróficas. Contiene una revisión del estado del conocimiento del riesgo y la evaluación prospectiva del riesgo definiendo los conceptos básicos que serán empleados y desarrollados en capítulos posteriores. En particular, se presenta el concepto del riesgo, se explican los pasos de la

evaluación probabilista del riesgo y las diferentes métricas que se pueden obtener para su caracterización. Finalmente, se detallan los diferentes insumos necesarios para la evaluación prospectiva del riesgo.

En el capítulo 3, se desarrolla el modelo de evaluación de riesgo propuesto. Empezando por la evaluación de las consecuencias de los eventos y desastres históricos; consecuencias que pueden ser vinculadas a desastres menores de difícil evaluación. En esta primera parte, se hace una introducción a las bases de datos globales públicas de desastres, se propone el modelo de costos y la metodología planteada para la obtención de la curva retrospectiva de riesgo. En la segunda parte del capítulo, se define el modelo de evaluación prospectivo probabilista del riesgo, el cual se basa en la estructura de la plataforma CAPRA (CIMNE et al. 2010) y se describe con detalle los pasos a seguir para la obtención de un modelo de elementos expuestos a partir de estadísticas demográficas y económicas disponibles. Finalmente, se propone una combinación entre los resultados de los análisis previos para obtener la curva híbrida del riesgo.

El capítulo 4 contiene la aplicación de la metodología propuesta para el caso particular de Colombia. Este país se ha elegido ya que dispone de estudios adicionales que permiten la comparación de los resultados obtenidos. En este capítulo, se presenta paso a paso la realización de la evaluación retrospectiva y prospectiva del riesgo, esperando que permita replicar, con los ajustes del caso, la metodología propuesta en otros países. Los pasos para realizar la evaluación retrospectiva se pueden resumir en: selección de la base de datos de desastres, selección del periodo de análisis, agrupación de registros en eventos, elaboración del modelo de costos, construcción de la curva retrospectiva de excedencia de pérdidas. Para el análisis prospectivo los pasos a seguir fueron: construcción de un modelo de amenaza sísmica nacional, construcción de un modelo de exposición, selección de las tipologías constructivas características base, selección de las funciones de vulnerabilidad. Procesamiento y resultados. Por último, al combinar los resultados de los análisis previos, se propone la curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia.

En el capítulo 5, se presentan algunos de los resultados disponibles de la aplicación de la metodología propuesta en otros países. Este capítulo se divide en dos secciones, siendo la primera la que presenta los resultados de algunos países a los cuales se les pudo realizar la evaluación retrospectiva del riesgo. La segunda parte presenta los resultados de los países a los cuales se les ha podido realizar la evaluación de curva híbrida. Estos resultados han sido elaborados por el autor en diversos proyectos de CIMNE (et al. 2011, 2013a, 2014a).

Finalmente el capítulo 6 presenta las principales conclusiones del trabajo desarrollado, así mismo plantea diferentes estudios adicionales que se pueden realizar para comprender de una mejor manera el impacto causado por los desastres, particularmente, los desastres menores.

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DEBIDO A FENÓMENOS NATURALES

2.1 Conceptos

2.1.1 Riesgo

El concepto del riesgo se emplea en general para expresar la incertidumbre en el resultado de una actividad o de un evento futuro, del cual se desconoce si ocurrirá y cuándo. El riesgo se ubica en un tiempo futuro, por lo que cada decisión y acción realizada antes de su materialización tendrá un efecto sobre el mismo. Para esta tesis, de acuerdo con Cardona (2011), el riesgo se define como: *“el potencial de pérdidas (materiales e inmateriales) que pueden presentarse ante la ocurrencia de un fenómeno natural”*, es decir, son las consecuencias causadas por la manifestación física de un evento natural futuro.

Si bien es posible definir el concepto del riesgo, su representación es bastante subjetiva; es decir, cada individuo puede tener diferentes niveles de percepción y aversión del riesgo. Aún más, debido a que, en general, los fenómenos naturales con potencial catastrófico tienen una frecuencia anual de ocurrencia extremadamente baja y que cualquier acción de preventiva tiene un costo asociado, es una posibilidad real que el riesgo sea visto como el problema de alguien más (i.e. el siguiente responsable). Por lo que en muchas ocasiones, no se realizan las actividades que permitan la adecuada reducción y mitigación de dicho riesgo. Esto sin contar, que una efectiva gestión del riesgo tiene efectos intangibles; es decir, no se pueden observar los beneficios (e.g. el ahorro

producido, la protección brindada, las vidas salvadas) de las políticas de prevención.

Un desastre es un proceso social, que se inicia cuando ocurre un evento natural, el cual impacta las infraestructuras de la comunidad y, las personas y sus propiedades. Pero, para que se genere un desastre, dicho evento debe encontrar unas condiciones de vulnerabilidad (de los bienes físicos) y de fragilidad (social e institucional) que no le permitan a dicha comunidad hacer frente a los efectos del evento (Cardona 2001, Carreño 2006, Carreño et al. 2007a y 2007b). Cuando no existen las condiciones necesarias para la prevención, mitigación y atención de los efectos de un evento natural, incluso un evento “menor” se puede convertir en un desastre. Es decir, cuando el riesgo se materializa, según las características y capacidades de la comunidad, se puede presentar o no un desastre.

Para hacer una efectiva gestión del riesgo de desastres por fenómenos naturales es necesario inicialmente identificar y medir el riesgo, de forma que se puedan plantear las estrategias y acciones preventivas más adecuadas que permitan evitarlo o reducirlo, en lugar de simplemente atender las emergencias futuras.

Antes de continuar, se hace necesario definir los siguientes conceptos:

- Amenaza, es el peligro debido a la posible ocurrencia de un fenómeno natural. En su definición, además de la localización, magnitud y distribución de la energía liberada, debe establecerse la frecuencia media anual con la que cada uno de los eventos que conforman la amenaza es esperado.
- Vulnerabilidad, es el comportamiento esperado de un elemento (e.g. edificación) ante la acción del fenómeno natural. Puede expresarse como el daño medio (entre 0% y 100%) causado sobre el elemento para diferentes lecturas de la intensidad de la amenaza.
- Exposición (o elementos en riesgo), son los diferentes elementos (e.g. edificaciones, viviendas, obras civiles) susceptibles a verse dañados, en caso de materialización de la amenaza.

La primera expresión globalmente aceptada, para medir el riesgo de desastres, fue definida por UNDRO (1980), en ella se considera la interacción entre los elementos expuestos, E , la amenaza, A , y la vulnerabilidad, V .

$$R = E \cdot A \cdot V \quad (2-1)$$

Se puede notar en la expresión anterior, que se consideran los términos de exposición, amenaza y vulnerabilidad como elementos independientes; pero la amenaza está presente debido a que se han construido unos elementos en un área propensa a ser afectada por uno o varios fenómenos naturales, y a su vez la vulnerabilidad es el comportamiento esperado de dichos elementos frente al fenómeno natural. Para reconocer la relación condicional entre dichos elementos, Cardona (1985) propuso la siguiente ecuación,

$$R_{ie|t} = f(A_i, V_e)|_t \quad (2-2)$$

donde A_i es la probabilidad que tiene una amenaza de igualar o exceder una intensidad i en un periodo de tiempo t en el cual los elementos expuestos e están presentes; V_e , es la probabilidad que los elementos expuestos e sufran algún daño debido a que la amenaza alcanza o supera la intensidad i ; Por último, $R_{ie|t}$ es el riesgo que tienen los elementos expuestos de tener pérdidas debido a la materialización de una amenaza con una intensidad i o superior durante un periodo de tiempo t .

De las definiciones anteriores (ecuaciones 2-1 y 2-2), es posible establecer que aunque la amenaza pueda ser debida a un fenómeno natural, el riesgo depende de situaciones humanas. Es decir, el riesgo por fenómenos naturales es la consecuencia de la actividad humana y como tal, es influenciado por acciones humanas, como por ejemplo: construir en lugares inadecuados, no emplear metodologías constructivas idóneas, o emplear insumos y materiales de baja calidad en las construcciones.

2.1.2 Exposición

La exposición física hace alusión a las edificaciones y obras de infraestructura presentes en el área de acción de las amenazas naturales a estudiar, las cuales pueden verse impactadas en caso de ocurrencia de un evento. Para poder definir la exposición de una comunidad, región o país ante una amenaza, es necesario discernir que cada inmueble es único, bien sea por su arquitectura, sistema estructural, materiales, proceso constructivo, etc. Pero debido a limitaciones tanto técnicas como de escala, no es posible caracterizar físicamente cada uno de estos elementos, mucho menos obtener los estudios necesarios que permitan predecir su comportamiento particular ante las diferentes solicitudes que una amenaza puede inducir. Por lo anterior, es necesario establecer, con base en las características de las diferentes construcciones existentes, categorías típicas que representen en forma adecuada y confiable el inventario de activos. Estos activos se pueden agrupar de esta manera en un número manejable.

Las categorías de elementos a emplear se definen con base en el tipo de construcción (e.g. viviendas, edificios, bodegas, tanques de almacenamiento), el sistema que sostiene la construcción en pie -es decir, su sistema estructural- (e.g. pórticos, muros, celosías), el material empleado del sistema estructural (e.g. acero, madera, concreto reforzado) y otras características como el año de construcción, el número de pisos, el material de fachada y el tipo de muros divisorios entre otros. La valoración de los elementos expuestos se realiza mediante el uso de fuentes de información social y macroeconómica, es decir se hace uso de información demográfica, estadísticas del sector de la construcción y otros parámetros.

Cuando el objetivo de la evaluación del riesgo es desarrollar el modelo de responsabilidad fiscal ante eventos catastróficos, es necesario incluir otras categorías de inmuebles, además de las edificaciones gubernamentales y la infraestructura pública. Diferentes suposiciones deben realizarse dada la calidad de la información disponible y la escala de la evaluación. La variabilidad en la escala con la cual se representa la exposición (desde edificios individuales, pasando por bloques -o manzanas-, vecindarios, ciudades, regiones y países), se verá reflejada en el detalle de los resultados obtenidos, sin embargo, sin importar la escala usada los resultados generales serán similares.

El portafolio de inmuebles de responsabilidad fiscal, puede definirse de manera simplificada como el conjunto de:

- Viviendas de la población vulnerable.
- Edificaciones públicas usadas para la atención médica y los servicios de salud.
- Edificaciones públicas usadas para la educación y otros servicios culturales.
- Edificaciones públicas usadas para la labor administrativa del gobierno y sus diferentes ramas.

Si bien es posible realizar un inventario detallado de los elementos presentes en una región de tamaño reducido, esto no es posible cuando se consideran regiones extensas. Por un lado está la naturaleza dinámica de la exposición (cada día se comienzan nuevas obras y ocasionalmente se destruyen otras) lo cual implica que el inventario desarrollado estará desactualizado aún antes de ser terminado. Por otro lado, la cantidad de información (propiedades mecánicas del suelo, topografía, diseño arquitectónico, materiales, etc.) a recopilar de cada inmueble puede exceder la capacidad, el presupuesto, la pertinencia o el objetivo del estudio.

Debido a que casi en ningún caso se dispone de información catastral detallada para todos los inmuebles presentes en un país, o dicha información tiene un acceso (o uso) restringido, se hace necesario plantear un procedimiento que permita estimar de forma aproximada pero confiable la exposición existente. Más aún, considerando los niveles de resolución espacial de la amenaza y el empleo de categorías generales de inmuebles, se hace innecesario buscar un modelo preciso y detallado de la exposición existente. Sin olvidar que al evaluarse el riesgo con la exposición existente, dicha evaluación deberá ser rutinariamente actualizada para reflejar cambios importantes en la distribución de inmuebles, tecnologías constructivas, códigos y manuales de buenas prácticas y materiales.

a) Antecedentes del modelo de exposición

Desde hace varios años, entidades multilaterales como el Banco Interamericano de Desarrollo (IDEA 2005; CIMNE et al. 2009, 2010, 2014a) y el Banco Mundial (CIMNE et al. 2010) han mostrado un interés importante en el estudio del impacto que los desastres naturales pueden conllevar hacia la estabilidad económica y al bienestar de la población. Si bien, dichos estudios han contado con el interés gubernamental y con el apoyo de estas entidades, no ha sido posible obtener en todos los casos inventarios de los inmuebles e infraestructura existente, o su cobertura ha sido bastante limitada. Es por esto que los estudios citados han terminado por desarrollar sus propios modelos de exposición, los cuales se han tratado de calibrar con la poca información disponible de las grandes ciudades.

El sistema de indicadores de riesgo y gestión del riesgo (IDEA 2005; CIMNE et al. 2009, 2014a) ha tenido como objetivo comparar las políticas de gestión del riesgo de los países evaluados, de forma que se pudieran identificar y recomendar las estrategias más eficientes. Entre estos indicadores se encuentra el Índice de déficit por desastre, o IDD, el cual evalúa el impacto de fenómenos naturales poco frecuentes sobre las principales ciudades y evalúa su capacidad financiera para hacer frente al mismo. Para el cálculo del impacto de los desastres, dada la magnitud de la tarea (la evaluación de 26 países de América Latina y el Caribe) fue necesaria la elaboración de un modelo de exposición muy simplificado. El modelo consideró la población de las principales ciudades, ya que concentran gran parte de la población, del gobierno, de la actividad económica nacional. Y en consecuencia concentran la mayor cantidad de los activos existentes. A nivel país, se considera que las grandes ciudades concentran el producto interno bruto (PIB), el porcentaje de población bajo la línea de pobreza y el índice de desarrollo humano (HDI).

Posteriormente, evaluaciones de riesgo para la región centroamericana desarrolladas con la plataforma CAPRA (CIMNE et al. 2010) incrementaron la complejidad del modelo de exposición. Dichos modelos se desarrollaron para considerar la población y otras estadísticas sociales (e.g. desempleo, población en edad escolar, población en la tercera edad) permitiendo obtener con cierto grado de confianza, el área construida para diferentes sectores: residencial, comercial, industrial, educación, salud y gobierno. Finalmente, con base en estadísticas económicas (e.g. consumo de energía eléctrica, PIB) es posible establecer una valoración del inventario obtenido. El modelo de exposición desarrollado era por último “validado” por expertos y autoridades locales.

Recientemente, uno de los ejercicios más ambiciosos ha sido generar un modelo global de exposición para la evaluación del riesgo de desastres, y se llevó a cabo para los reportes globales de evaluación de la reducción del riesgo de desastres, GAR (UNISDR, 2013 y 2015). La última versión de este modelo propone una base de datos global de construcciones urbanas, que incluye la distribución por sistema estructural y por valor económico expuesto (De Bono & Mora, 2014).

2.1.3 Amenaza por fenómenos naturales

Alrededor del mundo, ocurren constantemente manifestaciones físicas (eventos) de los fenómenos naturales, en algunos casos, estos eventos pueden ser observados desde su formación (e.g. tormentas, huracanes), en otros, sólo es posible observar la devastación que dejan tras su paso (e.g. deslizamientos, sismos). Dado que las consecuencias dejadas tras cada evento son medibles y que dicha información puede servir no sólo como advertencia, sino como un material base para modelos que permitan estimar el posible impacto de eventos futuros, es importante y necesario llevar un registro completo de los eventos ocurridos. Para tal fin existen bases de datos de desastres, las cuales almacenan la información disponible que permita describir el fenómeno y los daños causados. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos dichas bases de datos son limitadas e incompletas, o bien en la descripción del impacto causado, ya que únicamente miden el daño sobre un subconjunto de los elementos expuestos (e.g. inmuebles asegurados) o porque su uso (o acceso) es restringido, debido por ejemplo a que es de utilización privada.

Si se deja sólo a la memoria, la amenaza debida a los fenómenos naturales, tiende a ser subestimada debido a la escala de tiempo en la cual ocurre. Es decir, se olvida el potencial destructivo de los fenómenos naturales ya que sus manifestaciones más extremas, ocurren si acaso, menos de una vez por generación. Por ejemplo, si durante años se tiene un clima más seco de lo normal, es posible ignorar que ciertas áreas cercanas a los cauces de ríos,

corresponden a zonas de inundación; por lo que se puede dar el caso de construcciones o cultivos en dichas zonas, los cuales se verán impactados cuando las condiciones climáticas normales retornen.

A continuación se hace una breve descripción de los diferentes tipos de amenazas naturales consideradas en el presente documento; adicionalmente, se incluye una serie de tablas donde se muestra para cada tipo de amenaza los eventos más costosos ocurridos. Al visualizar el costo causado por dichos eventos es posible entender la importancia de un adecuado manejo del riesgo, en especial al considerar que debido al crecimiento global, cada día hay un mayor número de personas, edificaciones y recursos en zonas de riesgo, por lo que a menos que se tomen las medidas adecuadas dichas cifras se verán sobrepasadas en los próximos años. La información mostrada ha sido obtenida de la base de datos de desastres EM-DAT del Centro de Investigación y de Epidemiología de los Desastres (CRED por su sigla en inglés), la cual es la única base de datos pública que almacena y permite consultar información global de los desastres.

a) Amenaza geológica

Amenaza tectónica

La amenaza tectónica, corresponde a eventos causados debido al movimiento de la corteza terrestre. Durante dichos eventos, grandes cantidades de energía son liberadas de manera súbita, generando importantes desplazamientos y movimientos oscilatorios que pueden ser percibidos a cientos de kilómetros del epicentro. Cuando, dichos eventos ocurren en el mar, o en la línea costera, también pueden poner en movimiento importantes masas de agua, generando tsunamis. La Tabla 2-1, presenta los 10 desastres tectónicos más costosos de los cuales se encontró registro en EM-DAT.

Tabla 2-1 Principales desastres tectónicos

País	Fecha	Daño (miles de US\$)
Japón, Tsunami	11-Mar-11	210,000,000
Japón, Sismo	17-Jan-95	100,000,000
China, Sismo	12-May-08	85,000,000
Estados Unidos, Sismo	17-Jan-94	30,000,000
Chile, Sismo	27-Feb-10	30,000,000
Japón, Sismo	23-Oct-04	28,000,000
Italia, Sismo	23-Nov-80	20,000,000
Turquía, Sismo	17-Aug-99	20,000,000
Nueva Zelanda, Sismo	22-Feb-11	15,000,000
Taiwán (China), Sismo	21-Sep-99	14,100,000

Fuente: EM-DAT (<http://www.emdat.be>) - Data versión: v12.07. Fecha consulta: Feb-26-2013.

Amenaza geotécnica

La amenaza geotécnica corresponde a los deslizamientos o a la inestabilidad de laderas. Se trata de eventos en los cuales, grandes masas de tierra se ponen en movimiento debido a que se presenta un mecanismo de falla al interior de la ladera. Por lo general, estos eventos ocurren de forma bastante localizada e impactan un área comparativamente menor, respecto a otras amenazas (i.e. tectónica y meteorológica). La Tabla 2-2 muestra los diez desastres por deslizamiento más costosos de los cuales se encontró registro en EM-DAT.

Tabla 2-2 Principales desastres causados por deslizamientos

País	Fecha	Daño (miles de US\$)
Perú, Deslizamiento	Jan-83	988,800
China, Deslizamiento	1-May-98	890,000
China, Deslizamiento	7-Aug-10	759,000
Italia, Deslizamiento	14-Dec-82	700,000
Suiza, Avalancha	21-Feb-99	685,000
Italia, Deslizamiento	28-Jul-87	625,000
Ecuador, Deslizamiento	28-Mar-93	500,000
Guatemala, Deslizamiento	4-Sep-10	500,000
Unión Soviética, Deslizamiento	10-Mar-89	423,000
Bolivia, Deslizamiento	8-Dec-92	400,000

Fuente: EM-DAT (<http://www.emdat.be>) - Data versión: v12.07. Fecha consulta: Feb-26-2013.

Amenaza volcánica

La amenaza volcánica comprende el daño causado por erupciones, lahares, caída de cenizas y flujos piroclásticos. De las amenazas geológicas, es precisamente la amenaza volcánica la más ignorada, ya que los periodos de recurrencia de estos fenómenos puede llegar a ser en ocasiones de cientos o miles de años. Además, la mayoría de volcanes se encuentran en un estado inactivo, por lo que se puede tener una falsa sensación de seguridad. La Tabla 2-3 muestra los diez desastres por eventos volcánicos más costosos de los cuales se tiene registro en EM-DAT.

Tabla 2-3 Principales desastres causados por actividad volcánica

País	Fecha	Daño (miles de US\$)
Colombia, Erupción volcánica	13-Nov-85	1,000,000
Estados Unidos, Erupción volcánica	18-May-80	860,000
Filipinas, Erupción volcánica	9-Jun-91	211,000
Indonesia, Erupción volcánica	5-Apr-82	160,000

Ecuador, Erupción volcánica	14-Aug-06	150,000
Indonesia, Erupción volcánica	9-Sep-83	149,690
México, Erupción volcánica	28-Mar-82	117,000
Papua Nueva Guinea, Erupción volcánica	19-Sep-94	110,000
Japón, Erupción volcánica	1945	80,000
Indonesia, Erupción volcánica	14-Jul-83	25,500

Fuente: EM-DAT (<http://www.emdat.be>) - Data versión: v12.07. Fecha consulta: Feb-26-2013.

b) Amenaza por fenómenos atmosféricos

Tormentas

Las tormentas, cuando ocurren durante condiciones climáticas que se mantienen a lo largo de varios días o incluso semanas, dejan grandes cantidades de agua que pueden desbordar la capacidad de los sistemas de retención. En estos casos se generan inundaciones, las cuales dependiendo de la intensidad y duración de las lluvias y de las condiciones topográficas pueden afectar grandes porciones de un país (e.g. Colombia 2010, 2012; Alemania 2013). La Tabla 2-4, presenta las diez inundaciones más costosas registradas en EM-DAT.

Tabla 2-4 Principales desastres causados por inundación

País	Fecha	Daño (miles de US\$)
Tailandia, Inundación	5-Aug-11	40,000,000
China, Inundación	1-Jul-98	30,000,000
China, Inundación	29-May-10	18,000,000
Corea del Norte, Inundación	1-Aug-95	15,000,000
China, Inundación	30-Jun-96	12,600,000
Estados Unidos, Inundación	24-Jun-93	12,000,000
Alemania	11-Aug-02	11,600,000
Estados Unidos, Inundación	9-Jun-08	10,000,000
Pakistán, Inundación rápida	28-Jul-10	9,500,000
Italia, Inundación	1-Nov-94	9,300,000

Fuente: EM-DAT (<http://www.emdat.be>) - Data versión: v12.07. Fecha consulta: Feb-26-2013.

Tormentas tropicales, huracanes y ciclones

Manifestación extrema de la fuerza de los fenómenos climáticos, corresponde a las tormentas tropicales, huracanes y tornados; donde la mayor parte de la destrucción causada es debida al efecto de la fuerza del viento y aunque según el caso se pueden presentar inundaciones, estas por lo general no se deben a precipitaciones, si no a marejadas causadas por la fuerza del viento y al diferencial de presiones al interior de dichos sistemas climáticos. La Tabla 2-5, presenta los diez desastres más costosos debidos a tormentas tropicales, ciclones tropicales (o huracanes) y tornados.

Tabla 2-5 Principales desastres causados por huracanes

País	Fecha	Daño (miles de US\$)
Estados Unidos, Ciclón Tropical	29-Aug-05	125,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	12-Sep-08	30,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	24-Aug-92	26,500,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	28-Oct-12	20,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	15-Sep-04	18,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	13-Aug-04	16,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	23-Sep-05	16,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	24-Oct-05	14,300,000
Estados Unidos, Tormenta Local	20-May-11	14,000,000
Estados Unidos, Ciclón Tropical	5-Sep-04	11,000,000

Fuente: EM-DAT (<http://www.emdat.be>) - Data versión: v12.07. Fecha consulta: Feb-26-2013.

Sequías

Es tal vez uno de los fenómenos naturales más difíciles de reconocer en el momento en que ocurre. Esto debido a que sus efectos no son el resultado de un evento súbito, sino el resultado de un proceso que puede durar meses o años y que sólo, cuando se observan estos efectos sobre la población, los cultivos y el ganado se puede entender la magnitud del mismo. La Tabla 2-6 presenta las diez sequías más costosas reportadas en EM-DAT.

Tabla 2-6 Principales desastres por sequía

País	Fecha	Daño (miles de US\$)
China	Jan-94	13,755,200
Estados Unidos	Jan-11	8,000,000
Australia	1981	6,000,000
España	Sep-90	4,500,000
China	Oct-09	3,600,000
Irán	Apr-99	3,300,000
Estados Unidos	Jul-02	3,300,000
España	Apr-99	3,200,000
Canadá	Jan-77	3,000,000
China	1-May-06	2,910,000

Fuente: EM-DAT (<http://www.emdat.be>) - Data versión: v12.07. Fecha consulta: Feb-26-2013.

2.1.4 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es una característica inherente a cada elemento expuesto y corresponde a su predisposición de daño ante demandas externas. Esta predisposición viene dada en muchos casos desde el diseño mismo de los elementos, donde las normativas y los costos se conjugan para establecer una

capacidad óptima que permita hacer frente a futuras demandas externas. Normalmente la relación demanda/capacidad está dada de tal forma que se pueda hacer frente a fenómenos externos de alta probabilidad de ocurrencia, durante la vida útil del elemento, sin que se presenten daños mayores y sin colapso para el caso de eventos más severos cuya probabilidad de ocurrencia es menor.

Aunque existen diferentes tipos o aspectos (o dimensiones, según el autor que se consulte) de la vulnerabilidad: física, social, institucional, ambiental, entre otros; el objetivo de esta tesis es estimar el impacto económico directo de los desastres, por lo que únicamente se considerará la vulnerabilidad desde el punto de vista físico.

Para la determinación de la vulnerabilidad física de edificaciones se dispone de diferentes métodos, entre los que se cuentan:

- Descriptores cualitativos: este método clasifica cada uno de los elementos expuestos en categorías (e.g. bajo, medio, alto).
- Índices de vulnerabilidad: reflejan la calidad de diseño y construcción de cada edificación y se basan en calificaciones asignadas a las diferentes características físicas del elemento (e.g. tipología, diseño, materiales, etc.)
- Curvas de capacidad: son diagramas fuerza-desplazamiento que dan cuenta de la respuesta de la estructura y son obtenidos mediante análisis estructurales.

Para la evaluación del daño físico, se debe evaluar la demanda requerida por el fenómeno externo frente a la capacidad del elemento expuesto, para lo cual se puede hacer uso de:

- Matrices de probabilidad de daño: las cuales expresan de forma discreta la probabilidad condicional de alcanzar un nivel de daño dada la intensidad alcanzada por el fenómeno.
- Curvas de fragilidad: las cuales expresan la probabilidad de que el daño causado alcance o supere un nivel de daño establecido según la severidad del fenómeno.
- Funciones de vulnerabilidad: que relacionan, de manera continua, el daño sobre el elemento expuesto con una medida de la demanda causada por el fenómeno sobre dicho elemento.

Las matrices de probabilidad de daño, las curvas de fragilidad y las funciones de vulnerabilidad a pesar de tener importantes diferencias entre sí, se pueden

considerar equivalentes. Aunque estas se pueden obtener de censos de daños para edificaciones en áreas de alta amenaza, dicha información sólo sería relevante para la zona estudiada, y aún más, sólo para pocos sistemas constructivos que presenten un muy variado abanico de comportamientos; para otros sistemas, dicha información sólo sería parcial o insuficiente. Normalmente, para llenar estas carencias de información, se recurre a la opinión y modelos puntuales desarrollados por expertos locales (ATC13, Anagnos et al. 1995), pero éstos son subjetivos y limitados, por lo que otro tipo de análisis es normalmente propuesto. Entre los análisis adicionales se cuentan, el análisis no lineal de las edificaciones más representativas (Barbat et al. 2006a y b), simulaciones de Montecarlo (Barbat et al. 1996) y análisis probabilista de vulnerabilidad (Vargas et al. 2013a, b y c).

2.1.5 Incertidumbre

El proceso de la evaluación del riesgo debido a desastres naturales acarrea en cada uno de sus pasos diferentes tipos de incertidumbre. En la amenaza, en su localización, magnitud y frecuencia; así mismo, en la distribución espacial de la acción del fenómeno. En la exposición y vulnerabilidad, en la localización valoración de los activos y el daño esperado en los mismos para diferentes niveles de demanda de la amenaza. En el proceso de evaluación del riesgo por fenómenos naturales se tienen los siguientes tipos de incertidumbre:

- Incertidumbre epistémica: Corresponde a la falta de conocimiento del proceso de formación, manifestación y disipación del fenómeno físico.
- Incertidumbre estocástica: Corresponde a la incertidumbre inherente del sistema.
- Incertidumbre primaria: Corresponde a la incertidumbre en la ocurrencia y características del evento (e.g. ¿cuándo? ¿dónde? ¿magnitud?).
- Incertidumbre secundaria: Corresponde a la incertidumbre en las consecuencias que el evento genera. Está causada principalmente por la incertidumbre en la vulnerabilidad, el nivel de resolución espacial del análisis y la información de los elementos expuestos.
- Incertidumbre correlacionada: Corresponde a la incertidumbre en la respuesta de sistemas correlacionados. Por ejemplo, la incertidumbre en las pérdidas de las edificaciones debido a la ocurrencia de un evento.
- Incertidumbre no correlacionada: Corresponde a la incertidumbre de sistemas independientes. Por ejemplo, la incertidumbre en la frecuencia de las pérdidas de una región debido a los diferentes eventos posibles.

La incertidumbre se considera mediante el empleo de variables aleatorias, que permiten dar cuenta de la variabilidad esperada de los diferentes parámetros, y se incorpora en cada paso del proceso para obtener un valor global de incertidumbre aplicable a la pérdida estimada.

Debido a lo anterior, la pérdida que se presenta en un grupo de bienes expuestos durante un evento es una cantidad incierta que debe ser tratada como una variable aleatoria. Generalmente es impráctico determinar de manera directa la distribución de probabilidad de la pérdida en un bien expuesto condicionada a la ocurrencia de un evento. Por razones metodológicas, la probabilidad de excedencia de la pérdida p , dado que ocurrió un evento, suele expresarse de la siguiente manera:

$$Pr(P > p|Evento) = \int_I Pr(P > p|I)f(I|Evento)dI \quad (2-3)$$

El primer término de la integral, $Pr(P > p|I)$, es la probabilidad de que la pérdida exceda el valor p dado que la intensidad local fue I ; este término, por tanto, toma en cuenta la incertidumbre que hay en las relaciones de vulnerabilidad. Por otro lado, el término $f(I|Evento)$ es la densidad de probabilidad de la intensidad, condicionada a la ocurrencia del evento; este término toma en cuenta el hecho de que, dado que ocurrió un evento, la intensidad en el sitio de interés es incierta.

2.2 Modelación probabilista del riesgo

2.2.1 Amenaza

La identificación de las amenazas que pueden ocurrir sobre un área de interés es un paso previo a la evaluación del riesgo, ya que no es posible hablar del riesgo de desastres si no hay una amenaza presente que pueda generar un desastre. Para la modelación de la amenaza se hace uso de la información histórica disponible y de modelos matemáticos que permiten estimar con cierto grado de confianza las características de los eventos futuros que puedan ocurrir, permitiendo obtener así una idea general de la frecuencia con la cual se pueden presentar y el potencial destructivo asociado.

En los últimos años se han visto ciertos progresos en el desarrollo de herramientas y metodologías de alerta temprana; las cuales, en algunos casos cómo los huracanes, pueden dar alerta a poblaciones con días de antelación y en otros, cómo los sismos de sólo segundos. Si bien, es posible anticiparse, no es

posible prever o determinar cuándo y con qué intensidad se presentará el siguiente evento catastrófico y por lo tanto, se necesita un enfoque probabilista, que basado en la evidencia histórica, permita estimar de forma apropiada el potencial de futuras pérdidas.

Para la evaluación probabilista del riesgo es necesario que los modelos empleados definan para cada evento, además de sus características físicas (e.g. localización, magnitud), la frecuencia media con la que dicho evento o una de sus características (parámetro) se espera que ocurra sobre la zona de estudio. Estos eventos deben agruparse en una colección o catálogo que permita caracterizar la amenaza que estos significan (en términos de la plataforma CAPRA esto corresponde a un archivo AME). La amenaza se representa mediante un parámetro o medida de intensidad (e.g. aceleración del terreno, velocidad del viento) y su posible variabilidad que da cuenta de la incertidumbre. Dicha medida de intensidad es posteriormente empleada para correlacionar la ubicación geográfica y la energía de cada evento con su potencial destructivo. La evaluación de la amenaza hace uso de la información histórica de eventos para definir las áreas propensas a sufrir el impacto de fenómenos naturales y las características básicas de la amenaza, además permiten la calibración y validación de los modelos desarrollados.

Considerando que mediante la evaluación prospectiva, se busca obtener el riesgo asociado a eventos extremos que tienen el potencial de impactar en forma simultánea un número amplio de elementos expuestos, en este capítulo la revisión se limita únicamente a huracanes y sismos.

a) Modelo de evaluación de la amenaza por sismo

La plataforma CAPRA dispone de un módulo de análisis del amenaza sísmica, llamado CRISIS2007 (Ordaz et al 2007), que permite realizar evaluaciones deterministas (DSHA, por sus siglas en inglés) o probabilistas (PSHA, por sus siglas en inglés) de la amenaza. Dada la naturaleza prospectiva y probabilista del análisis planteado, es necesario hacer uso del modelo de amenaza compatible, es decir el modelo PSHA. Este módulo permite realizar un análisis probabilista de la amenaza sísmica considerando los siguientes pasos:

- a. *Definición espacial de las fuentes sismogénicas.* En función de información histórica y de estudios previos de sismología local, es posible representar espacialmente las zonas donde se han localizado los hipocentros de los eventos pasados, y de los eventos que se espera que ocurran. Dichas geometrías pueden definirse mediante puntos, líneas, áreas o una combinación de las anteriores. Se considera que cada punto

al interior de la fuente tiene las mismas probabilidades de ser el próximo foco sismogénico, para lo cual se hace necesario subdividir cada fuente en un número importante pero manejable de subfuentes, en función de la longitud o del área individual.

- b. *Caracterización de las fuentes sismogénicas.* Se realiza empleando información histórica, información geotécnica y tectónica, y considerando que la sismología local obedece un proceso de Poisson, es decir que la ocurrencia de un evento cualquiera es independiente de los demás. Esta caracterización incluye la magnitud mínima de la fuente, la magnitud máxima que puede esperarse, y la frecuencia anual con la que estas y otras magnitudes han ocurrido o se espera que ocurran.

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad (2-4)$$

donde M_0 es la mínima magnitud relevante. λ_0 , β , y M_u son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas.

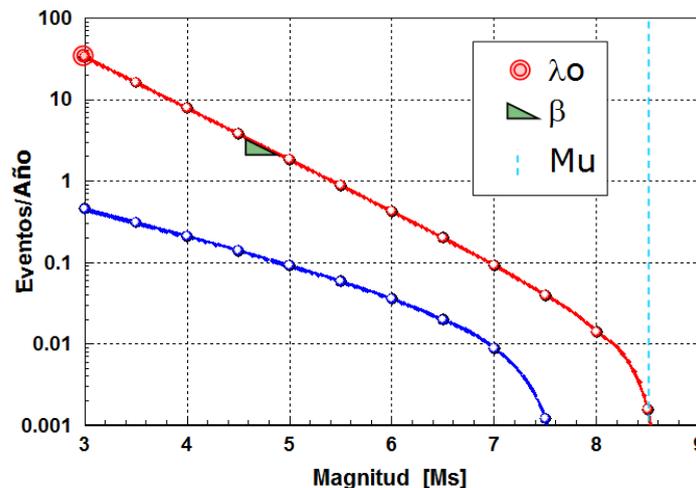


Figura 2-1 Tasas de excedencia de fuentes para el modelo de sismicidad de Poisson

Fuente: CIMNE et al. 2010

- c. *Selección de las funciones de atenuación.* La energía liberada por el sismo se disipa a medida que transita la corteza terrestre, por lo que la intensidad del fenómeno en el lugar de estudio es función entre otros factores de la distancia. Las funciones de atenuación provienen, por lo general de exhaustivos estudios de sismicidad local y regional.

- d. *Calculo de la amenaza sísmica.* Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, puede calcularse la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura.

$$v(a) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda_i(M)}{\partial M} \Pr(A > a | M, R_i) dM \quad (2-5)$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , $\Pr(A > a | M, R_i)$ es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, a , dada la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio, R_i . Las funciones $\lambda_i(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza desde M_0 hasta M_u , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

- e. *Generación de eventos estocásticos.* Para cada una de las subfuentes se genera una serie de eventos posibles entre las magnitudes de estudio. Cada subfuente tiene unos parámetros de sismicidad que se asignan de manera ponderada en función de su área, manteniendo de manera general la sismicidad de la fuente. Para cada evento se calcula la frecuencia con la cual dicho evento puede esperarse y la distribución espacial de la intensidad (junto con la incertidumbre de dicha intensidad en cada punto).

b) Modelo de evaluación de la amenaza por huracán

Para la evaluación probabilista de la amenaza por tormentas tropicales y huracanes, se hace uso de la herramienta ERN-Huracán (CIMNE et al. 2010). Esta herramienta permite estimar con base en información histórica, la fuerza de los vientos, el nivel del oleaje y la cantidad de precipitación que eventos futuros pueden causar. El procedimiento que la herramienta realiza se puede resumir en los siguientes pasos:

- a. A cada trayectoria de tormenta tropical y huracán disponible se le asigna una frecuencia anual de ocurrencia en función del periodo de tiempo cubierto. Cada trayectoria esta descrita por un número de puntos, los cuales contienen la localización, la fecha, la hora, la velocidad del viento y la presión atmosférica en el centroide de la tormenta.

- b. Cada trayectoria es simulada un número n de veces. Empleando una metodología “random-walk”, cada paso del huracán es “aleatoriamente” (debe cumplir con parámetros de dirección) obtenido en función del anterior. El conjunto de eventos mantiene estadísticamente las características de la trayectoria original.
- c. En cada nodo de cada nueva trayectoria se evalúan los efectos del huracán en el área circundante. Se puede evaluar la velocidad del viento, el nivel de la marea, la cantidad de precipitación o cualquier combinación de los anteriores.
 - i. La velocidad del viento es función de la distancia del centro de la tormenta al punto de interés, la dirección relativa a la trayectoria, la presión central, la velocidad de avance de la tormenta, los parámetros de forma del campo de viento, la rugosidad superficial y la topografía.
 - ii. La marea de tormenta se obtiene mediante de un modelo de flujo hidrodinámico que calcula el incremento en el nivel del mar al combinar la presión central, el campo de vientos de la tormenta, la batimetría y la topografía.
- d. Se deben verificar los resultados empleando información disponible de estudios de amenaza.

2.2.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad física de un elemento expuesto se caracteriza por funciones que relacionan un parámetro asociado a la intensidad (e.g. velocidad del viento) de la amenaza con el daño que diferentes niveles del mismo pueden causar sobre el elemento. Esto permite estimar las pérdidas que causaran cada uno de los eventos que conforman la amenaza. La vulnerabilidad se define de manera probabilista, es decir para cada posible valor de la intensidad del fenómeno se asocia un valor medio del daño y una varianza.

Debido al importante número de elementos expuestos, no se tienen funciones de vulnerabilidad para elementos individuales sino para diferentes grupos de elementos similares, grupos en los cuales, cada uno de los elementos expuestos se debe clasificar. Las funciones de vulnerabilidad corresponderán entonces al comportamiento medio esperado de los diferentes grupos definidos, por lo que los resultados que se obtengan representan el comportamiento del grupo,

siendo válidos únicamente para el conjunto de elementos y no para los elementos de forma individual.

2.2.3 Riesgo

El análisis probabilista del riesgo busca determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden ocurrir sobre los bienes y elementos expuestos, durante lapsos dados, como consecuencia de la ocurrencia de eventos peligrosos, integrando de manera racional las incertidumbres que surgen en las diferentes fases del análisis. Este tipo de análisis busca obtener la frecuencia con la cual se presentarán pérdidas que igualen o superen un valor determinado, dado que se tiene un conjunto de elementos expuestos a una (o más) amenazas.

El procedimiento del cálculo probabilista del riesgo consiste, en evaluar las posibles pérdidas que se presentarían sobre el conjunto de elementos expuestos, para cada uno de los eventos que colectivamente conforman la amenaza. Luego se integran de forma probabilista los resultados obtenidos, utilizando como factores de peso las frecuencias de ocurrencia de cada evento. Este procedimiento involucra un número de incertidumbres que no es posible solventar, ni ignorar y que por lo tanto deben propagarse a lo largo del proceso. Este es un ejercicio que se debe repetir esporádicamente para considerar los posibles efectos de un mejor conocimiento de la amenaza (bien sea debido a un nuevo modelo, o a que se dispone de nueva y más precisa información), los posibles efectos de un incremento en el número de elementos expuestos, y los posibles efectos en la vulnerabilidad (debido a cambios en los elementos existentes o cambios en las metodologías constructivas de los nuevos elementos).

Para el cálculo del riesgo, considerando que la amenaza se conforma por un extenso número de eventos y que se desconocen las características con las cuales se manifestará su próxima representación, se hace necesario el uso del teorema de la probabilidad total. La ecuación 2-6 (Ordaz, 2000), considera todas las potenciales consecuencias causadas por todos los posibles eventos supuestos.

$$v(p) = \sum_{i=1}^N \Pr(P > p | Evento_i) F_A(Evento_i) \quad (2-6)$$

Dónde: $v(p)$, es la tasa de excedencia de la pérdida, p ; $F_A(Evento_i)$, es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i ; y $\Pr(P > p | Evento_i)$, es la

probabilidad que la pérdida causada P , sea superior a p debido a la ocurrencia del evento i .

Así, el riesgo está dado en términos de consecuencias por unidad de tiempo (e.g. pérdidas anuales o para período de tiempo determinado), lo que depende de la frecuencia de los sucesos o eventos factibles con su respectiva intensidad –i.e. la amenaza– y de la posible severidad de las consecuencias si se presenta cada suceso o evento –i.e. la vulnerabilidad.

Ahora bien, evaluar la amenaza es pronosticar la ocurrencia de eventos en el futuro con base en el estudio de su mecanismo físico generador y el registro de dichos eventos en el tiempo con sus respectivas intensidades. Este tipo de evaluación la realizan usualmente instituciones técnicas y científicas relacionadas con campos afines a la amenaza (e.g. geofísica, la meteorología, la hidrología y los procesos tecnológicos). Los resultados de estos estudios usualmente se plasman en mapas de amenaza, en los cuales es posible presentar los diferentes niveles de intensidad esperados de la amenaza para un determinado periodo medio de retorno.

Por otra parte, evaluar la vulnerabilidad, es establecer el grado de daño que puede sufrir un elemento o grupo de elementos ante diferentes niveles de intensidad que puede causar la amenaza con base en la capacidad que tienen los mismos de resistir o absorber dicha acción. Existen diferentes enfoques para el análisis de vulnerabilidad, desde el punto de vista de la ingeniería dicho análisis está orientado a determinar la posibilidad de que en cualquiera de los eventos futuros se presenten daños debido a que la demanda causada por los eventos, de acuerdo con su intensidad, supere la capacidad de los elementos expuestos. Esto puede ocurrir en forma súbita o gradual según ciertos estados límites de resistencia residual. Ahora bien, otros enfoques, por ejemplo de las ciencias sociales, están orientados a determinar no sólo dicho grado de susceptibilidad frente a las acciones externas sino las causas de dicha predisposición que favorecen o que facilitan que se presenten consecuencias. Esta tesis considera el primer enfoque mencionado, a partir del cual se evalúa el riesgo en forma probabilista realizando la convolución entre la amenaza y la vulnerabilidad. No obstante se reconoce la importancia de otros enfoques donde las métricas del riesgo físico se utilizan como indicadores que da cuenta del riesgo desde una perspectiva integral, tal como lo plantean Cardona (2001) y Carreño (2006).

La evaluación probabilista del riesgo conlleva en general los siguientes pasos:

1. Definición del inventario de elementos expuestos en riesgo: Se debe definir el conjunto (o portafolio) de elementos que se encuentra presente

en la zona de acción de la amenaza (o amenazas) bajo estudio, y que podrían verse impactados en caso de materialización de dichas amenazas. Para cada elemento se debe especificar su localización geográfica, su valor –usualmente de reposición–, otras características que permitan asignarle una función de vulnerabilidad.

2. Evaluación de la amenaza: Definición, para cada uno de los fenómenos o peligros considerados, de un conjunto de eventos (también llamados escenarios) que representan cada posible manifestación física del fenómeno, de manera que se constituye de forma exhaustiva la amenaza. Cada escenario debe permitir construir la distribución de probabilidad de las intensidades producidas por la ocurrencia del evento.
3. Funciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos: Las funciones de vulnerabilidad definen la distribución de probabilidad de las pérdidas según la intensidad de cada evento, y se definen mediante curvas que relacionan la intensidad del fenómeno en la ubicación del elemento y el valor esperado del daño (y su correspondiente desviación estándar). Dada la complejidad de evaluar de manera individual la vulnerabilidad de cada elemento expuesto, se hace necesario conformar grupos lo suficientemente similares que permitan obtener conclusiones válidas. Por lo tanto se define para cada grupo de elementos expuestos, según sus características estructurales, una función de vulnerabilidad para cada tipo de amenaza.

En general, las funciones de vulnerabilidad son una representación del comportamiento promedio de tipos constructivos (presentan una dispersión y una varianza), y de acuerdo con la ley de los grandes números, en cuanto mayor es el número de elementos expuestos el comportamiento tenderá a estar cerca de la media. La incertidumbre de los daños significa que las pérdidas causadas por un evento real pueden ser divergentes del valor previsible del modelo, pero el promedio de todos los eventos catastróficos modelados corresponde con el riesgo real, siempre y cuando se hayan reflejado correctamente en el modelo la exposición y la vulnerabilidad (Zimmerli 2003).

4. Estimación del riesgo del portafolio: Resulta de la convolución entre la amenaza, y la vulnerabilidad del inventario de los elementos expuestos, con el fin de calcular las frecuencias de ocurrencia de niveles específicos de pérdida en lapsos determinados de tiempo. El riesgo, es comúnmente descrito mediante la curva de excedencia de pérdidas, que permite

observar las frecuencias (usualmente anuales) con las que ocurrirán eventos en los cuales se iguale o exceda un dado valor de pérdida. Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como la tasa de excedencia y puede calcularse mediante la ecuación 2-6, la cual es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total.

El procedimiento de cálculo del riesgo probabilista puede resumirse, para cada escenario en:

- Se determina, para el escenario la distribución de probabilidades de la pérdida en cada uno de los elementos expuestos.
- A partir de las distribuciones de probabilidad de las pérdidas ocurridas en cada elemento, se determina la distribución de probabilidad de la suma de estas pérdidas, tomando en cuenta la correlación que existe entre ellas.
- Un vez se determinada la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas en este evento, calcular la probabilidad de que ésta exceda un valor determinado, p .
- La probabilidad determinada en el inciso anterior, multiplicada por la frecuencia anual de ocurrencia del evento, es la contribución de este evento a la tasa de excedencia de la pérdida p .

El cálculo se repite para todos los eventos, con lo que se obtiene el resultado indicado por la ecuación 2-6. Se puede señalar que en esta ecuación no se hace distinción entre el origen de los eventos, lo que significa que en la suma de esta ecuación se podrían incluir, dos o más amenazas. Esto puede hacerse porque se ha supuesto que los eventos asociados a una misma amenaza no ocurren simultáneamente. Sin embargo, algunos fenómenos potencialmente destructivos sí ocurren de manera simultánea, por lo que en ciertos casos es necesario tomar previsiones especiales para la determinación de la distribución de probabilidad de pérdidas. Esto quiere decir, que por ejemplo, el paso de un huracán genera tanto un campo de vientos fuertes, inundaciones por aumento en los niveles de marea y por las fuertes lluvias asociadas; los daños por viento y por inundación, ocurren para efectos prácticos de manera simultánea, y no pueden considerarse eventos independientes. En este caso, se dice que las amenazas están asociadas a una misma temporalidad.

Según lo anterior, un sismo, un tsunami y los deslizamientos de tierra que pueden inducirse por culpa del movimiento ondulatorio del terreno ocurrirían en una misma temporalidad, pero en una temporalidad diferente en la que por ejemplo, ocurrirían daños por viento, marea de tormenta e inundación. La evaluación de las pérdidas durante un escenario se realiza considerando que las

amenazas de una misma temporalidad ocurren de manera simultánea. No existe una manera sencilla y libre de ambigüedades para evaluar las pérdidas en estas condiciones (varias amenazas ocurriendo simultáneamente). Para los fines de este enfoque se utiliza la siguiente expresión para evaluar la pérdida en cada uno de los bienes expuestos, que corresponde a un modelo de daño en cascada, en el cual el orden de exposición a las diferentes amenazas es irrelevante:

$$P_i = \prod_{j=1}^M (1 - P_{ij}) \quad (2-7)$$

en donde P_i es la pérdida asociada al escenario i , P_{ij} es la pérdida asociada al escenario i por concepto de la amenaza j , y M es el número de amenazas simultáneas consideradas en la temporalidad a la que pertenece el escenario i .

Conviene recordar que P_{ij} son variables aleatorias y, por tanto, P_i también lo es. Sin embargo, si las distribuciones de probabilidad de las P_{ij} son conocidas, y se hacen suposiciones razonables sobre su nivel de correlación (por ejemplo, que están perfectamente correlacionadas) los momentos de la distribución de probabilidad de P_i pueden determinarse a partir de la ecuación 2-7 (Ordaz, 2015).

2.3 Métricas del riesgo

2.3.1 La curva de excedencia de pérdidas

La representación gráfica de la ecuación 2-6 se conoce como la curva de excedencia de pérdidas, o LEC (por sus siglas en inglés, Loss Exceedance Curve). Esta curva relaciona gráficamente los efectos esperados (e.g. pérdidas económicas) sobre un conjunto de elementos expuestos (e.g. edificaciones) con la frecuencia media anual con la que se espera que dichos efectos ocurran o se vean superados. La Figura 2-2, muestra una curva LEC, la cual permite observar la frecuencia esperada (eje vertical izquierdo) con la que pérdidas de cierto valor, en promedio ocurrirán o se verán superadas. Dado que la frecuencia de ocurrencia es el inverso del periodo de retorno (eje vertical derecho), esta curva también puede interpretarse como el tiempo promedio con el que determinado valor de pérdida ocurrirá o será superada. Es importante resaltar que la frecuencia mostrada en la LEC corresponde a la frecuencia de las pérdidas y no a la frecuencia de los eventos que conforman la amenaza. Lo anterior quiere decir que, por ejemplo, para un portafolio de elementos expuestos un evento frecuente y cercano puede tener un impacto mayor que un

evento extraordinario distante (e.g. una tormenta cercana puede causar unas pérdidas muy superiores a las que cause un huracán a varios cientos de kilómetros). En general, la frecuencia de los eventos y la frecuencia de las pérdidas ocasionadas no son iguales.

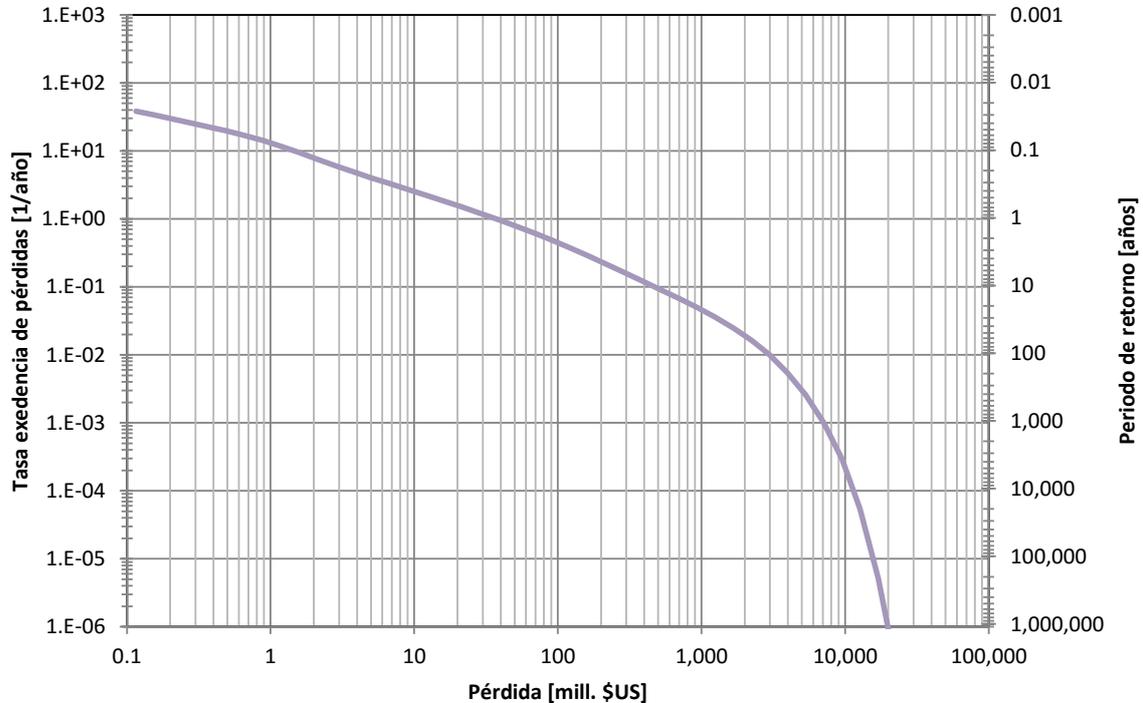


Figura 2-2 Curva de excedencia de pérdidas

2.3.2 La pérdida anual esperada

La pérdida anual esperada o AAL (por sus siglas en inglés, Average Annual Loss), es una medida que indica que tan proclive se es al riesgo. Un mayor valor revela que se esperan mayores pérdidas en los desastres futuros o que dichas pérdidas ocurren con mayor frecuencia. En términos generales es el resultado de considerar las consecuencias de todos los eventos y dividirlos entre la ventana de tiempo en la cual ocurrieron.

$$AAL = \frac{\sum_{i=1}^N P|Evento_i}{T} \quad (2-8)$$

Dónde: *AAL*, es la pérdida anual esperada; $P|Evento_i$, es la pérdida causada por el evento *i*; y *T*, es el periodo de tiempo sobre el cual ocurrieron todos los eventos considerados. Al graficar, para un corto periodo de exposición la AAL, junto con el costo acumulado de los desastres puede verse como al final del periodo analizado, esta alcanza el valor acumulado de todos los desastres ocurridos, Figura 2-3.

La Figura 2-3 ilustra el proceso de obtención de la AAL, pero como se puede observar se limita únicamente al periodo de tiempo en el cual se cuenta con información suficiente, en este caso, 40 años. Es fácil imaginar que la mayoría de los posibles eventos, que conforman la amenaza de la región de estudio no han ocurrido, por lo que es necesario considerar de otra manera su impacto. Para el caso del análisis probabilista del riesgo, la AAL se obtiene al integrar la ecuación 2-6,

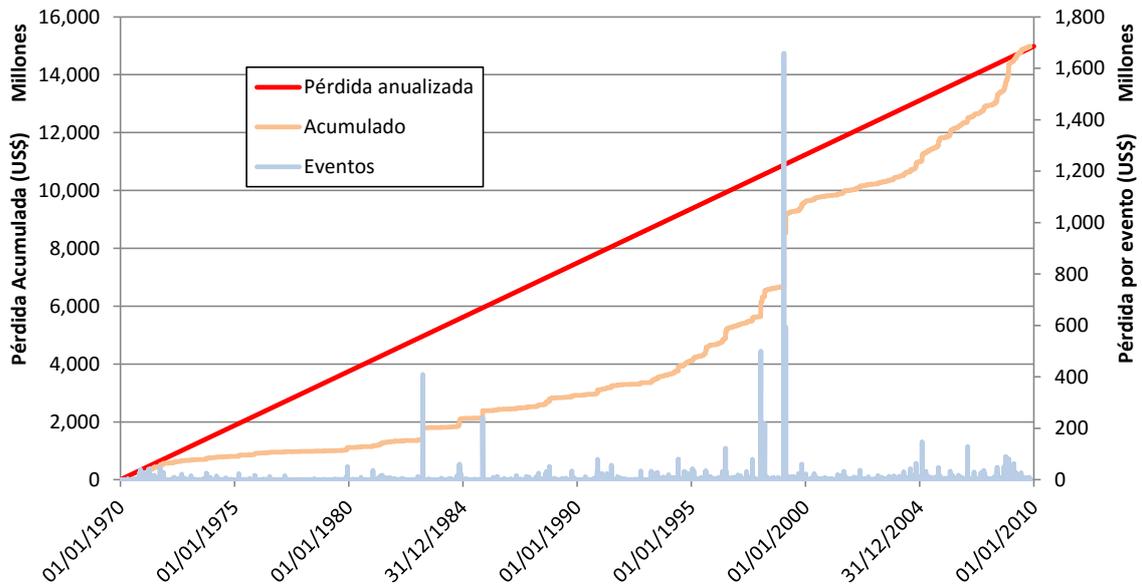


Figura 2-3 Evaluación de la pérdida anual esperada

$$AAL = \int_0^{\infty} v(p) dp = \sum_{i=1}^N E(P | Evento_i) F_A(Evento_i) \quad (2-9)$$

dónde: AAL , es la pérdida anual esperada; $E(P | Evento_i)$, es la pérdida esperada del Evento i ; y $F_A(Evento_i)$, es la frecuencia anual de ocurrencia del Evento i .

La AAL se calcula como la suma, para todos los eventos –estocásticos– considerados, del producto entre las pérdidas esperadas para determinado evento y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento en un período de un año. En términos probabilistas, la AAL es la esperanza matemática de la pérdida anual. La AAL considera las pérdidas de cada elemento expuesto debidas a todos los eventos que se presentan durante su vida útil y considera además su recurrencia cuando se calcula el promedio anual de éstas. Este indicador deja claro que hay elementos expuestos que recurrentemente tienen pérdidas mayores que otros, pero sin necesidad de particularizar dichas pérdidas para un evento especial (Roa 2010).

La AAL obtenida del análisis de eventos pasados (análisis retrospectivo) no es comparable con la obtenida del análisis de posibles eventos futuros (análisis prospectivo), ya que ambas consideran periodos de tiempo completamente diferentes. En el caso retrospectivo, se tiene información confiable y significativa en el mejor de los casos de unas cuantas décadas. En el análisis prospectivo se tiene información de la amenaza que puede abarcar cientos o incluso miles de años (todos los eventos por tratarse de una análisis estacionario). Sin embargo, no hay que olvidar que pese al bajo número de años que cubre el análisis retrospectivo, en casos excepcionales, el catálogo de eventos registrados puede contener algún evento extraordinario, es decir un evento de enormes pérdidas pero cuya frecuencia debería ser muy inferior a la mostrada, en este caso se distorsiona la AAL retrospectiva.

2.3.3 Probabilidad de excedencia de valores de pérdida

La curva de excedencia de pérdidas, indica con qué frecuencia ocurrirán eventos que producirán pérdidas iguales o superiores a una pérdida, p , dada. Si suponemos que el proceso de ocurrencia de eventos en el tiempo obedece a un proceso de Poisson, entonces es posible calcular la probabilidad de que la pérdida p sea excedida en un lapso de tiempo T , es decir, en los próximos T años, con la siguiente expresión:

$$P_e(p, T) = 1 - e^{-v(p)T} \quad (2-10)$$

donde $P_e(p, T)$ es la probabilidad de que la pérdida p , sea excedida en los próximos T años.

2.3.4 La pérdida máxima probable

La pérdida máxima probable, o PML (por sus siglas en inglés, Probable Maximum Loss) se trata de una pérdida que ocurre con una muy baja frecuencia; es decir, que está asociada a un periodo de retorno muy largo (o, alternativamente, a una tasa de excedencia muy baja). No existe un consenso universalmente aceptado para definir “con muy poca frecuencia”. De hecho, la elección de un periodo de retorno u otro para tomar cierta decisión depende de la aversión al riesgo de quien lo está tomando. Por ejemplo, para edificaciones residenciales, es común el uso de periodos de retorno que varían entre 200 y 500 años en algunos países y en otros de 1 000 o 1 500 años, para efectos de la solvencia que deben garantizar las compañías de seguros.

La PML representa el valor esperado de la distribución de pérdidas agregadas para una frecuencia anual de excedencia dada, o su inverso, el periodo de retorno. Es decir, la probabilidad de que las pérdidas igualen o excedan un umbral para un periodo de retorno dado. La estimación de la PML es sólo una aplicación de la curva de excedencia de pérdidas, la cual es fundamental para diversos cálculos actuariales.

La PML fue desarrollada para estimar las pérdidas que podría sufrir una cartera o un portafolio de elementos expuestos (e.g. edificios); es decir, el promedio de pérdidas sobre un área geográfica definida. Esta medida no representa un valor matemático o estadístico para estructuras individuales específicas, dado que el desempeño esperado de cada edificación puede variar significativamente de la respuesta promedio de un amplio grupo de edificios. El objetivo de un valor único de PML es representar una pérdida abarcando el comportamiento típico de grupos de edificios con características similares en sismos importantes y no pretende representar el comportamiento estructural detallado de un edificio (ATC 2002).

Cuando se define la PML es importante considerar que su valor puede variar de acuerdo con el tipo de portafolio que se use (como se señaló anteriormente en la curva de excedencia de pérdidas) y si las pérdidas son muy volátiles los resultados pueden aumentar o disminuir. Sin embargo, en general, una PML, como una medida de riesgo coherente debería satisfacer cuatro criterios básicos (Tversky & Shafir 1992; Woo 1999):

a. Invarianza translacional: Si una cantidad de gastos constantes, c (por ejemplo, costos fijos o gastos) se aplica al portafolio de pérdida (A) para el peor evento anual, entonces la PML cambia en la misma cantidad.

$$PML(A + c) = PML(A) + c \quad (2-11)$$

b. Homogeneidad positiva: Si un cambio k en la escala monetaria del portafolio expuesto (por ejemplo, cambio de divisas) se aplica al portafolio de pérdida (A), la PML cambia por el mismo factor.

$$PML(k \cdot A) = k \cdot PML(A) \quad |k > 0 \quad (2-12)$$

c. Monotonía: Si ocurren eventos durante un año y la mayor pérdida del portafolio A es mayor o igual a la mayor pérdida del portafolio B, entonces la PML del portafolio A debe ser mayor o igual que la del portafolio B.

$$\text{Si } A \geq B, \text{ entonces } PML(A) \geq PML(B) \quad (2-13)$$

d. Subaditividad: Debe haber algún beneficio en la diversificación de riesgos. Por ejemplo, si se unen diferentes portafolios, se puede lograr una mayor distribución del riesgo en un área geográfica mayor o se podría aumentar el número de riesgos buenos lo que conllevaría a ganar un beneficio como por ejemplo obtener una PML menor que la suma de las PML de los diferentes portafolios.

$$PML(A + B) < PML(A) + PML(B) \quad (2-14)$$

No obstante, la PML no siempre cumple este último criterio. Es importante tener en cuenta que siempre es posible obtener valores de PML diferentes para un mismo portafolio (incluso usando el mismo modelo y los mismos datos) debido a las incertidumbres, epistémicas y aleatorias, asociadas a la ocurrencia del evento, a la escases de datos, a la variación probabilista de la vulnerabilidad. Estas incertidumbres contribuyen por tanto a las incertidumbres (variación probabilista) en la estimación de las pérdidas.

Dado que en algunos casos no es posible satisfacer el criterio de subaditividad, se define una nueva medida de riesgo en el mercado financiero denominada Expected Shortfall (Déficit esperado), que indica el valor esperado de la pérdida, condicionada a que ésta es mayor que la PML. El ES se puede describir como el promedio de los peores casos y puede ser calculado a través del promedio de los valores que exceden la PML (Kunreuther et al. 2009; Woo 1999), el ES busca determinar la pérdida máxima esperada dado que fue superada la PML (Kunreuther & Yen Koo 2006). Por ejemplo, la Swiss Re, usa el 1% Shortfall que significa los daños anuales promedio del 1% de los peores años (es decir los más caros) menos los daños medios anuales de todos los años (pérdida anual esperada) (Zimmerli 2003). El ES es un valor más conservador que se enfoca en los resultados menos favorables. Mientras el ES depende de la cola de la curva, la PML no es sensible a ésta. Idealmente la PML debería aumentarse si la cola se extendiera y debería reducirse si ésta es corta (Woo 1999). Sin embargo, el valor ES es más sensible a errores de estimación, principalmente por la falta de información detallada que permita una mayor exactitud en los modelos.

La PML es una medida de riesgo simple y de fácil comunicación: ¿Cuál es la pérdida esperada que tiene un determinado período de retorno?. Dependiendo de la tolerancia al riesgo de una organización, esta puede decidir manejar las pérdidas para un cierto período de retorno (por ejemplo 1 en 300 años), para

esa organización la PML es la pérdida de los 300 años. Para otros podría ser la de 150 años o la de 500 años. En algunos países ha sido frecuente establecer un programa de insolvencia en un nivel entre uno en 150 años, a uno en 200 años, que aproximadamente corresponde al nivel de solvencia requerido para el tipo de compañías BBB+ valoradas por S&P (Standard & Poor's). Sin embargo, otros actores involucrados han seleccionado periodos de retorno mucho más largos. La Comisión de Seguros y Fianzas de México y la Superintendencia Financiera de Colombia utilizan períodos de retorno mayores a 1 000 años para definir los márgenes de solvencia de las compañías aseguradoras.

2.4 La plataforma CAPRA

Cuando se considera la realización de una evaluación del riesgo de un país, es necesario establecer claramente los objetivos, según el caso puede no ser necesario obtener una cifra exacta de pérdidas, ni identificar con exactitud los elementos expuestos que sufren un daño que puede significar el colapso. Dichos resultados se pueden obtener para evaluaciones puntuales donde, el tiempo y el presupuesto lo justifiquen. En el caso de la evaluación del riesgo a nivel país el interés es obtener unos rangos de pérdidas económicas que pueden ser causadas por desastres futuros, de manera que se puedan establecer las estrategias financieras más apropiadas para hacer frente a su posible impacto.

Es común subestimar la magnitud posible de los fenómenos naturales, debido a que su ocurrencia está asociada a muy bajas frecuencias de recurrencia, especialmente en el caso de los grandes eventos; o lo que es aún peor, por el hecho de emplear la métrica del periodo de retorno (el inverso de la frecuencia de ocurrencia) para caracterizar los posibles escenarios de la amenaza. El hecho de usar como referencia el periodo de retorno, puede conducir a representar de forma errónea la amenaza, es decir, si se habla de un escenario de riesgo con un periodo de retorno de 475 años, es posible que algunos sectores de la población (y del gobierno) asuman dicha cifra como la fecha de su ocurrencia, es decir, que consideren que dicho evento se presentará en 475 años a partir del día del reporte. Otro aspecto a considerar, es que los eventos ocurridos en años anteriores rara vez son representativos de los eventos de gran magnitud.

Al subestimar la amenaza y sus efectos, no se da la suficiente importancia a las herramientas de planeamiento urbano y financiero, que permiten preparar las instituciones y entidades encargadas de hacer frente al riesgo físico y de insolvencia. Por otra parte, se limita el desarrollo de modelos adecuados que permitan medir el riesgo de desastres y por ende, el riesgo soberano asociado a este tipo de shocks. La financiación futura del impacto del riesgo debe ser un proceso estudiado, planeado y controlado, dado que es posible que la magnitud

de un evento catastrófico particular exceda la capacidad financiera y de respuesta de la institución o gobierno impactado. Por lo anterior, es necesario contar con estudios detallados que permitan establecer la protección financiera adecuada, y en general, la reducción del riesgo y sus consecuencias. Aunque es posible adoptar políticas mediante aproximaciones o estimaciones, el hecho de no cuantificar el riesgo limita el proceso de toma de decisiones desde la perspectiva de su reducción y la financiación. Por lo tanto, el uso de modelos de evaluación del riesgo catastrófico constituye una importante y poderosa herramienta en el desarrollo de las actividades propias de las instituciones de planeación económica y financiera.

Desde hace tiempo, la industria de seguros y reaseguros se ha apoyado en la organización CRESTA (www.cresta.org) para establecer un sistema uniforme y global que permita transferir datos de exposición (entendida como valor en riesgo) agregada para la modelización y control de cúmulos de riesgo entre los aseguradores y reaseguradores. La principal razón de esta agregación es el alto costo de la modelización del riesgo catastrófico con alta resolución y la ausencia de datos detallados (bien sea porque no existen o porque no pueden ser suministrados por restricciones legales). Las zonas CRESTA son generalmente independientes de la amenaza pero estas zonas reflejan la relación entre la alta resolución deseable y la verdadera disponibilidad de datos en el mercado (Cardona 2002; Zimmerli 2003).

Por otro lado, existen modelos actuariales y probabilistas razonablemente adecuados para la evaluación del riesgo catastrófico que usualmente son propietarios (i.e. de firmas especializadas en el campo de los seguros/reaseguros y el riesgo financiero, como RMS, AIR Worldwide, EQECAT, ERN entre otras). Estos modelos se enfocan en capturar posibles situaciones de insolvencia para las compañías de seguros y reaseguros o entidades del mercado de capitales que “toman” riesgo.

Teniendo en cuenta las limitaciones en la evaluación del riesgo debido a la falta de un adecuado marco instrumental metodológico, en 2008 surgió la iniciativa de crear una plataforma de riesgo multi-amenaza (de código abierto y arquitectura modular) para apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo ante desastres naturales. Plataforma actualmente conocida como CAPRA, desarrollada inicialmente para los países de Centroamérica con el apoyo del Banco Mundial, el BID y UN-ISDR, pero ya ha sido o está siendo utilizada en países de Suramérica, el Caribe, Asia y África.

En síntesis, el objetivo de la modelización probabilista del riesgo catastrófico es determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas, por la ocurrencia

de amenazas naturales, de los activos expuestos para tiempos de exposición dados, integrando las incertidumbres existentes en las diferentes partes del proceso (Woo 1999; Grossi & Kunreuther 2005; Cardona et al. 2008a, b, c, d).

La plataforma CAPRA (*Enfoque integral para la evaluación probabilista del riesgo*) es un conjunto de herramientas desarrolladas para la evaluación probabilista del riesgo asociado a fenómenos naturales. Estas herramientas permiten considerar los diferentes componentes del riesgo, junto con su respectiva incertidumbre. Los diferentes componentes que abarca la plataforma CAPRA incluyen: la caracterización y modelación de fenómenos naturales; la creación de una base de datos geo-referenciada de elementos expuestos representativos de los elementos presentes en la zona de estudio; y, la definición y asignación de curvas de vulnerabilidad para cada uno de los diferentes grupos que conforman la exposición.

La plataforma asume que los fenómenos naturales ocurren siguiendo un proceso de Poisson, por lo que cada evento es independiente de los demás. Para evaluar el riesgo, es necesario disponer de todas las posibles manifestaciones o escenarios de la amenaza, en este sentido CAPRA define un archivo de amenaza, llamado AME. Dicho archivo debe cumplir dos condiciones, debe ser exhaustivo, es decir incluye todos los posibles eventos (pasados, presentes y futuros), y a su vez, debe ser exclusivo, es decir, cada evento debe estar incorporado en una única ocasión. Cada evento se almacena empleando mallas raster (mallas con valores X, Y, Z), en las cuales cada punto de la malla tiene asociada una intensidad media del fenómeno y un momento estadístico representativo para dicha intensidad (e.g. desviación estándar, varianza).

La exposición es modelada mediante archivos ESRI Shape. Estos permiten una representación geo-referenciada de los diferentes elementos susceptibles a daño durante la ocurrencia de alguno de los eventos disponibles en el catálogo AME. Los diferentes elementos expuestos pueden ser representados mediante entidades geométricas (i.e. puntos, líneas o polígonos) espacialmente referenciadas en el sistema geodésico WGS84, aunque debido a las limitaciones del formato shape, un archivo sólo puede contener un tipo de entidad geométrica. Adicionalmente a la configuración espacial de los elementos expuestos, es necesario incluir varios parámetros que permitan su posterior caracterización, entre los que se encuentran: tipo de edificación, uso, número de pisos y valor de reposición. En caso de que la información anterior no este directamente disponible a través de bases de datos catastrales, la plataforma CAPRA tiene definidos procedimientos que permiten generar una base de datos geo-referenciada de elementos expuestos mediante la recopilación de estadísticas, indicadores sociales, demográficos y económicos. Aunque este

modelo aproximado o “proxy” no es una representación fidedigna de la realidad, es una buena estimación, en especial considerando que se busca medir el riesgo global de un conjunto de elementos, sin entrar en los detalles de cada caso particular.

Finalmente para relacionar la amenaza de los fenómenos naturales con la base de datos de elementos expuestos, la plataforma CAPRA define un conjunto de curvas de vulnerabilidad, una por cada tipo de edificación o infraestructura presente en la base de datos. Las curvas de vulnerabilidad relacionan una medida de la amenaza (e.g. velocidad máxima del viento, profundidad de inundación, aceleración espectral) con el daño medio esperado (MDR, por sus siglas en inglés) y su correspondiente desviación estándar. La Figura 2-4 muestra una función de vulnerabilidad, en la cual es posible observar cómo además del daño esperado, es posible considerar la incertidumbre. La incertidumbre en este caso es producto de diferentes factores, entre los que se pueden contar: las estimaciones e hipótesis realizadas durante el diseño, la calidad de los materiales empleados, la calidad del proceso constructivo, el clima durante la construcción, el mantenimiento de la estructura.

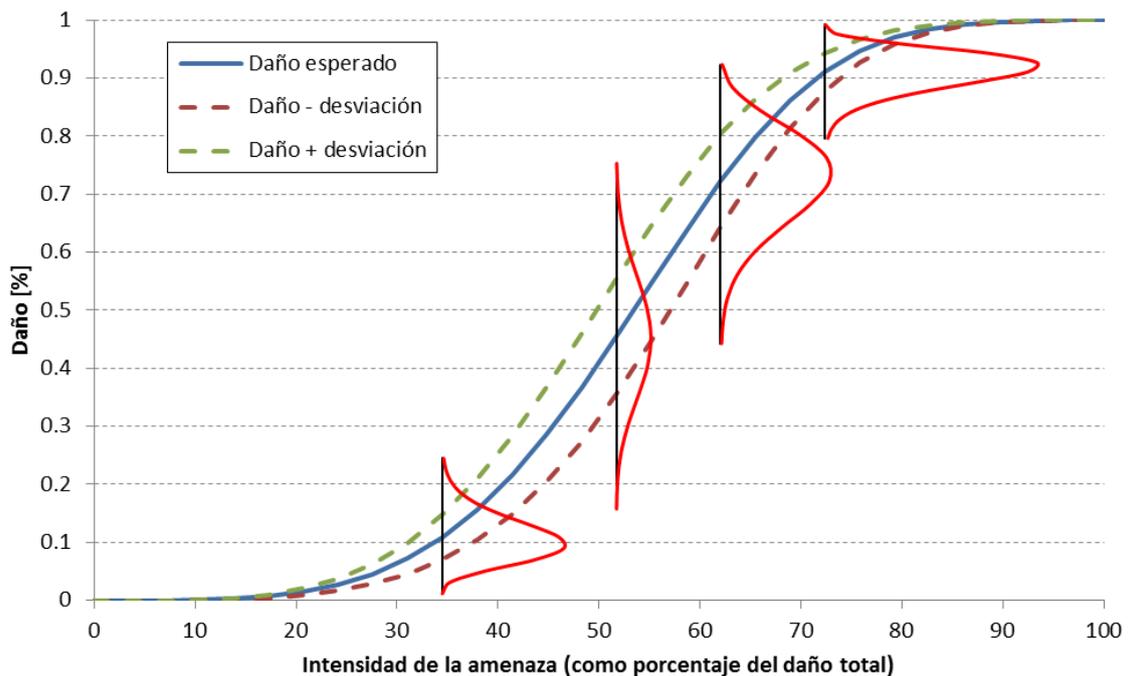


Figura 2-4 Representación probabilista de la vulnerabilidad.

Mediante este enfoque las pérdidas que se producen se consideran discretas en el tiempo y por lo tanto que siguen un proceso de Poisson. Es decir, que los eventos son mutuamente excluyentes pero que son exhaustivos o suficientes para modelar la amenaza y el riesgo como un fenómeno estacionario en el tiempo. A cada componente de los elementos expuestos (e.g. edificio, tubería,

segmento de vía, etc.) se le asigna una curva de vulnerabilidad representativa del daño que puede sufrir dicho componente ante la intensidad de cada evento, la cual se describe también mediante dos valores: el valor medio o de tendencia del daño y un valor de su dispersión representado por la desviación estándar o la varianza, que permiten definir una función de distribución de probabilidad.

La pérdida en cada componente y para cada portafolio de los elementos expuestos (e.g. hospitales, escuelas, edificios públicos, red de acueducto, poliducto, vías, etc.) se determina mediante el encadenamiento de las dos distribuciones de probabilidad condicionales (que representan la amenaza y vulnerabilidad), obteniendo en cada caso una función de densidad de probabilidad (FDP) de la pérdida, dado que ésta se trata como una variable aleatoria.

La plataforma CAPRA es principalmente un mecanismo para la correcta comunicación, entendimiento y gestión del riesgo, mediante el uso de metodologías avanzadas de evaluación de riesgo y tecnologías de bases de datos espaciales.

METODOLOGÍA PROPUESTA DE EVALUACIÓN HÍBRIDA DEL RIESGO

El riesgo de desastres causado por fenómenos naturales, puede ser dividido en dos diferentes segmentos según la metodología requerida para su evaluación. Por una parte, se encuentran los fenómenos poco frecuentes, los cuales debido a la cantidad de energía que pueden liberar en un solo evento, pueden comprometer la estabilidad económica y fiscal de una región. Este segmento del riesgo será denominado “riesgo intensivo” y abarca fenómenos naturales como sismos y huracanes. Por otra parte, se encuentran los fenómenos naturales frecuentes, los cuales en cada ocurrencia impactan unos pocos elementos (en comparación al riesgo intensivo), pero pueden suceder en un corto periodo de tiempo sobre un área extensa. Se denominará este segmento como “riesgo extensivo”, el cual incluye fenómenos naturales como las inundaciones y los deslizamientos.

El riesgo intensivo puede ser evaluado mediante metodologías como las presentadas en el capítulo 2, las cuales permiten combinar la amenaza, el inventario representativo de los elementos expuestos y la vulnerabilidad de estos elementos ante la amenaza seleccionada. El análisis probabilista permite considerar las diferentes incertidumbres inherentes al proceso de evaluación y dimensionar dentro de un margen de confianza, el riesgo intensivo. Desafortunadamente, no es posible seguir un esquema similar para la evaluación del riesgo extensivo, donde a pesar de poder evaluar con una mayor precisión (pero a la vez, requiriendo una mucho mayor cantidad de información) eventos individuales, las incertidumbres asociadas a su evaluación

probabilista sobre un área extensa proporcionan un rango de valores tal, que hacen de este un ejercicio fútil.

Esta tesis propone una metodología que permite, con un nivel de confianza aceptable, estimar el riesgo extensivo causado por los fenómenos naturales menores. Un análisis prospectivo y probabilista permitirá evaluar el riesgo intensivo. Finalmente, al combinar ambos análisis, es posible definir la evaluación híbrida del riesgo, la cual permite mostrar un panorama más completo del riesgo, ya que incluye tanto los eventos mayores (y de potencial catastrófico) como los eventos menores, que afectan principalmente los sectores más frágiles de la sociedad.

3.1 Evaluación retrospectiva del riesgo

El análisis individual de las consecuencias de desastres, es una tarea llena de controversias, dada la complejidad de evaluar adecuadamente el impacto sobre los sectores económicos, sociales y ambientales afectados. Incluso con técnicas rigurosas, las cuales requieren de un personal altamente capacitado, un amplio nivel de acceso a la información y un prolongado periodo de tiempo de estudio, solo es posible obtener estimativos básicos de los costos directos, indirectos y macroeconómicos causados, es decir que el costo que se estima del evento es diferente del costo real del mismo. Esto se debe a varios factores, entre los que se cuentan: la diversidad de criterios, la falta de información precisa o confiable, el uso de valores y estadísticas de otras zonas que no corresponden fielmente con la región afectada y debido a la subjetividad propia de los evaluadores y afectados. Normalmente, dada su complejidad esta evaluación sólo se realiza para eventos catastróficos que afectan de manera importante variables económicas y macroeconómicas o sectores consolidados de la economía formal (e.g. CEPAL 1999a y 2012).

En el caso de los desastres menores (i.e. pocas personas o un área pequeña son impactadas), la ayuda gubernamental es nula, o en el mejor de los casos poca, y es usualmente la propia comunidad la que debe asistirse a sí misma. Por lo tanto, puede decirse que los pequeños desastres tienden a ser invisibles a las autoridades nacionales, y en algunos casos, incluso a las autoridades regionales.

En lo que se refiere a la estimación del impacto, además de incluir el efecto económico (tanto en su versión negativa como positiva) se debe considerar otro tipo de variables que no siempre es posible medir en términos monetarios o cuya cuantificación se dificulta por su naturaleza. Entre ellas, se puede mencionar la desarticulación económica de sectores marginales e informales de la economía local, la pérdida del patrimonio familiar o individual de sectores

marginales, la destrucción de formas de subsistencia de auto-consumo, la migración causada por un desastre, además de otros factores que pueden darse en casos específicos como puede ser la destrucción parcial o total de sitios y edificios históricos, obras de arte, patrimonio científico, etc.

Por lo anterior y sin pretender resolver la complejidad de la evaluación del impacto de los desastres, se propone una técnica simplificada, mediante la cual es posible obtener un costo mínimo que hubiesen tenido que asumir los gobiernos centrales, si se hubiera cubierto en el pasado la reposición, reparación o reconstrucción de los activos afectados. Esto en función de la información disponible sobre efectos ocurridos, que pueden ser deficientes e incompletos, particularmente en el caso de los desastres menores. En otras palabras, se intenta dar cuenta de los costos que al no ser cubiertos, en muchos casos, por los gobiernos, han tenido que ser asumidos o absorbidos por los afectados.

Aunque se propone es una valoración económica hipotética, simplificada y conservadora, esta ilustra de alguna manera, o en parte, el impacto a las comunidades en su contexto y el no despreciable gasto que hubiesen tenido los gobiernos. Un problema especialmente relevante en los países en desarrollo donde los desastres, particularmente los menores, no han sido visualizados en su verdadera dimensión social y económica. De paso, se miden los recursos económicos mínimos que deberían tener los gobiernos para atender la reposición de activos y medios de sustento de los eventos más recurrentes, en la óptica de su responsabilidad fiscal. Sin embargo, se debe resaltar que el análisis de un conjunto de eventos, requiere realizar algunos sacrificios en cuanto al nivel de detalle, resolución y confiabilidad respecto al análisis individual de los mismos.

3.1.1 Introducción

La evaluación del riesgo debido a los fenómenos naturales (e.g. hidrometeorológicos, sísmicos, volcánicos, sequías, deslizamientos, etc.), es una tarea de interés especial para las comunidades ubicadas en las zonas de acción de dichos fenómenos, para las autoridades responsables de la seguridad de la población, para los organismos dedicados e interesados en mejorar las condiciones de vida de dicha población, y para la comunidad académica que desea entender y anticipar la ocurrencia de estos desastrosos eventos.

Considerando que los desastres reducen los recursos y la resiliencia de las comunidades afectadas; aún más, cuando dichos desastres ocurren de manera recurrente sobre las mismas poblaciones, los procesos de reconstrucción y recuperación posteriores a cada desastre pueden verse interrumpidos, por lo

que las consecuencias de nuevos eventos impactaran de una manera más profunda las comunidades ya golpeadas. Sólo se considerará el efecto físico de los desastres, dejando a un lado el efecto humano de los mismos, debido a la complejidad técnica y moral de su evaluación.

El estudio del impacto a largo plazo de los desastres sobre la economía (Albala-Bertrand 1993, Benson & Clay 2003, Toya & Skidmore 2007, Hallegatte & Ghil 2008, Hallegatte & Dumas 2009, Noy 2009, Schumacher & Strobl 2011, Moreno & Cardona 2011, Loayza et al. 2012, Strobl 2012), en general, se ha centrado en el impacto macroeconómico que sobre la región o el país afectado tiene el proceso de recuperación. En esta tesis se considerará, el efecto de los desastres como la desviación de recursos (económicos y humanos) desde actividades y proyectos que generan un valor adicional a la sociedad, hacia un proceso de reposición de los elementos perdidos.

En general, los costos ocasionados por los pequeños desastres no alcanzan los umbrales de daño que activan los mecanismos de ayuda gubernamental, ni la atención mediática suficiente para movilizar la población en un esfuerzo aunado de ayuda y solidaridad. Adicionalmente, muchas veces los pequeños desastres pueden ser reiterativos, causando un desgaste sobre la sociedad que puede motivar su inacción y desinterés. En consecuencia, los impactos negativos de los desastres menores sobre la formación de capital, tales como la destrucción de activos y propiedades, aumentan la pobreza y reducen la capacidad de las comunidades golpeadas a adaptarse y hacer frente a futuros eventos.

El riesgo “extensivo” corresponde a los desastres, pequeños y dispersos (como los ocasionados por deslizamientos o inundaciones), los cuales impactan durante cada materialización un número reducido de elementos. Debido a la frecuencia de estos fenómenos, se puede esperar la ocurrencia de un elevado número de eventos (no necesariamente correlacionados) sobre las áreas de estudio. La modelización matemática de los pequeños desastres, aunque es una tarea compleja es factible cuando se analiza un caso particular y bien delimitado (e.g. una cuenca menor, una ladera), dado que se puede obtener con una adecuada confianza, información detallada de las características físicas de los elementos involucrados (e.g. topografía, propiedades mecánicas del suelo, coeficientes de escurrimiento). Cuando se extiende el área de estudio a un nivel regional o nacional, se convierte en una tarea irresoluble, debido a la cantidad de información necesaria, la incertidumbre en los modelos y la información de entrada, y al alto grado de susceptibilidad de los resultados a la información local. De hecho, los resultados de estos modelos presentan una gran variabilidad ante pequeños cambios en la información de entrada, esto quiere decir que, por ejemplo, cuando se evalúa la amenaza de inundación, una lluvia puede causar

un desbordamiento si se analiza usando una topografía definida cada metro, pero no causarlo si se usa una topografía definida cada 0.5 metros (la cual incrementa los requerimiento de espacio digital y de computo de manera exponencial).

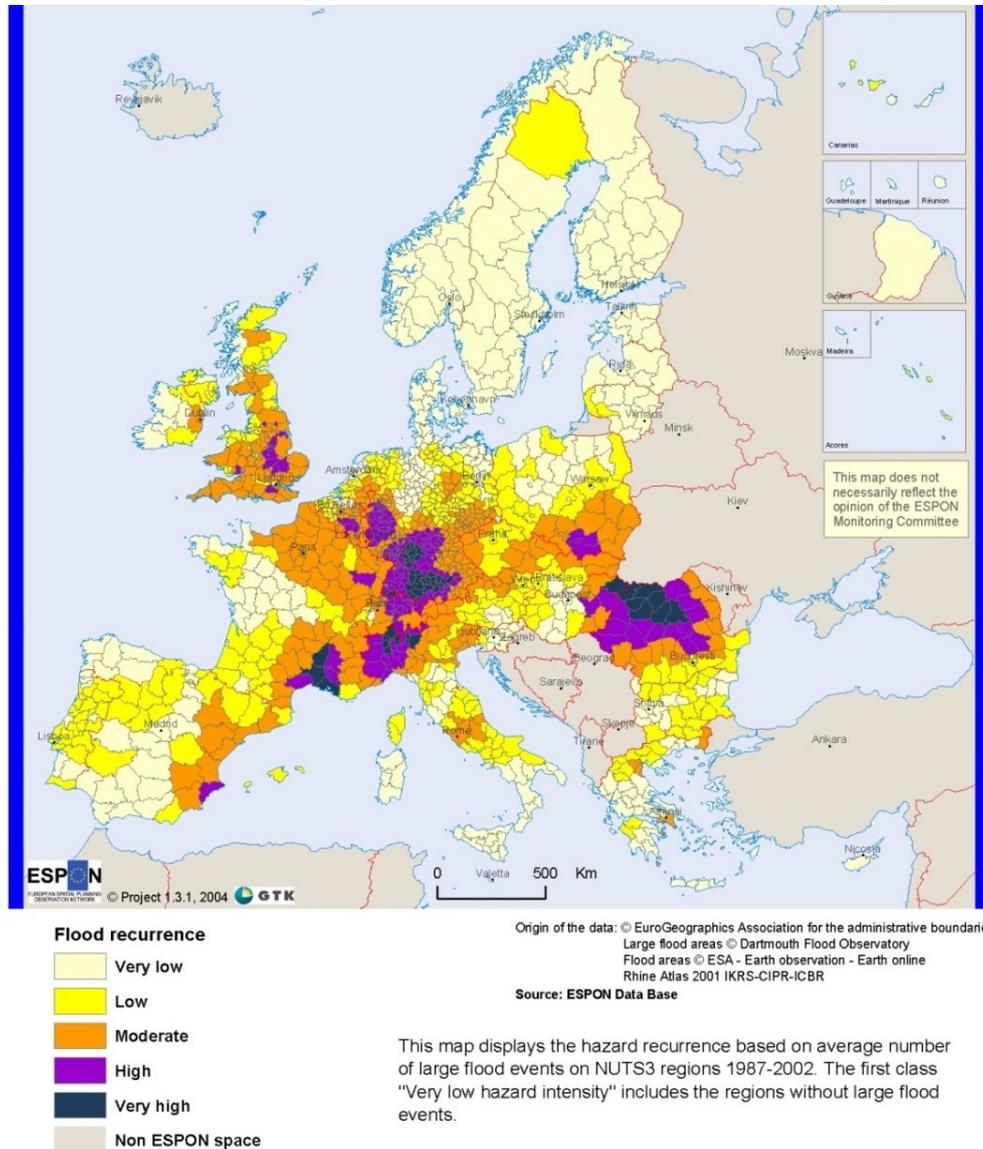


Figura 3-1 Mapa de amenaza por inundación en Europa.

Fuente: ESPON 2006

Es por lo anterior que, por lo general, los fenómenos que conforman el riesgo extensivo se evalúan mediante mapas de susceptibilidad (e.g. ESPON 2006, Environmet Agency n.d.) los cuales clasifican zonas de amenaza alta, media y baja, como se ilustra en la Figura 3-1. Estos mapas se basan en información general, como por ejemplo la elevación, la pendiente, y el número y el tamaño de los eventos ocurridos previamente. Aunque son insumos importantes para la planificación y el desarrollo de políticas de uso de suelos, sólo presentan la

amenaza de manera parcial y relativa; es decir, muestran las áreas en las cuales muy posiblemente ocurrirán durante un mismo periodo de tiempo, un mayor número de eventos o en las cuales esos eventos serán más intensos. Sin embargo, carecen de una cuantificación de la amenaza, por lo que no pueden ser empleados en la evaluación del riesgo de desastres. Aún más, dichos mapas corresponden a una representación general del fenómeno, la cual no corresponde con los mecanismos con los cuales este se materializa, es decir que, difícilmente un solo evento impactara dos regiones separadas geográficamente (e.g. Mar del Norte, Mar Mediterráneo) con la misma fuerza.

Para obtener el riesgo debido a los pequeños eventos, es necesario realizar una serie de hipótesis y simplificaciones. La más importante de ellas consiste en esperar que el comportamiento, los daños y las pérdidas de futuros eventos sea similar al comportamiento de los mismos en el pasado; esta hipótesis es consistente con la empleada en la industria de seguros, en la cual información de pólizas y reclamos es procesada constantemente de manera estadística, para determinar la prima correspondiente a cada uno de los asegurados según el elemento a asegurar (e.g. hogar, vehículos, vida). Es por esto que, aunque se desee contar con el registro más extenso de eventos posibles, se debe seleccionar cuidadosamente el periodo de tiempo, donde las condiciones de exposición y vulnerabilidad sean compatibles con las actuales, de manera que se puedan obtener resultados robustos.

En este capítulo se propone un modelo para la evaluación del riesgo de desastres por fenómenos naturales de manera retrospectiva. En este modelo, se obtendrá un costo económico “mínimo” que, según las consecuencias reportadas y seleccionadas, un evento pudo causar sobre las comunidades impactadas. El modelo hará uso de un enfoque sencillo y replicable para obtener un valor de las pérdidas causadas por cada evento pasado disponible en la base de datos. Se considera además que las tendencias de amenaza, exposición y vulnerabilidad se preservaran, por lo que se podrá obtener del modelo, la magnitud de recursos necesarios para afrontar eventos futuros.

3.1.2 Bases de datos de desastres

Disponer de un registro extenso con las consecuencias generadas por los eventos pasados, incluyendo su causa y localización, permite obtener una imagen general de las zonas más propensas a la acción de los diferentes tipos de amenazas naturales presentes. Al recopilar regularmente los daños causados por los diferentes tipos de eventos ocurridos, las bases de datos de desastres permiten disponer de un importante volumen de información, en el estudio de la amenaza y el riesgo. Evitan el largo y costoso proceso de revisión de anuarios,

reportes y otro tipo de documentos públicos y privados en los cuales, organizaciones y administraciones pudieron registrar estos eventos, a la vez que se omite la menor cantidad de eventos posible.

Las bases de datos de desastres, desde su concepción tratan de recopilar la mayor cantidad posible de eventos y sus correspondientes consecuencias, desafortunadamente en la mayoría de los casos, los años previos a dicho inicio presentan un número de registros escaso o incluso nulo. Aunque ocasionalmente se realizan esfuerzos para complementar dichos lapsos, el alto costo que conlleva la investigación manual y revisión de documentos en búsqueda de eventos con los cuales alimentar las bases de datos, limita mucho los periodos disponibles.

Aún con un intervalo de tiempo limitado, el disponer de un registro con los eventos pasados, permite realizar estudios y evaluaciones de la problemática de los desastres y de sus efectos sobre las comunidades impactadas, los cuales de otra manera serían muy limitados, o incluso imposibles. La información almacenada en las bases de datos de desastres, no recopila el total de eventos ocurridos históricamente, pero si contiene el registro más completo posible. Esto significa contar con una muestra lo suficientemente amplia para estudiar los efectos de los fenómenos naturales sobre la sociedad. Sin embargo, no hay que olvidar, que como con toda actividad humana, la información recopilada en estas bases de desastres, no se encuentra exenta de errores y requiere una permanente revisión y depuración.

Las diferentes bases de datos han presentado en términos generales un importante incremento en el número de eventos reportados en promedio cada año durante las últimas décadas. Este incremento puede deberse entre otros motivos a un mejor acceso a tecnología que permite almacenar y reportar los diferentes eventos, mejor acceso a canales de comunicación y por lo tanto un reporte más ágil y completo (incluso de eventos menores), y a la explosión demográfica y su consecuente incremento en el número de propiedades (elementos) en riesgo.

Para la presente tesis se ha hecho la revisión de dos bases de datos de desastres, las cuales además de permitir un libre acceso a sus datos, son constantemente depuradas y actualizadas: EM-DAT y DesInventar. Aunque, existen otras bases de datos que recopilan el efecto que tienen los desastres (e.g. NatCat, Sigma), estas no son de libre acceso y la información que almacenan es, por lo general basada en reclamos de pólizas de seguros, por lo que la cantidad de registros es limitada en países con baja penetración de la industria aseguradora, además es bastante concentrada en sectores específicos (i.e. industria y comercio).

a) EM-DAT

La base de datos de eventos de emergencia (EM-DAT) fue concebida en 1988 y ha sido actualizada desde entonces por el Centro de investigación en la epidemiología de los desastres (CRED, por sus siglas en inglés) de la Universidad Católica de Louvain. Lleva un registro global de eventos de emergencia a escala nacional. Para que un evento, sea incluido como desastre en esta base de datos, debe cumplir con cualquiera de las siguientes condiciones:

- Causar 10 o más muertos, o
- Afectar 100 o más personas, o
- Que haya una declaración de estado de emergencia, o
- Que se emita una solicitud de ayuda internacional.

Todo evento almacenado, registra a nivel nacional algunas de las consecuencias causadas. Entre otros se recopilan los siguientes campos: heridos, muertos, personas sin hogar, país y costo asociado al desastre. La Tabla 3-1 presenta los principales campos que incluye la base de datos de desastres EM-DAT y una breve descripción de los mismos.

Tabla 3-1 Principales campos de la base de datos EM-DAT

Campo	Descripción
DISNO	Número único de desastre para cada evento (8 dígitos: 4 dígitos para el año y 4 dígitos para el número de desastre – por ejemplo, 19950324)
Country	País o países en los cuales ocurrió el desastre
Disaster generic group	Dos grupos son diferenciados en EM-DAT: desastre natural y desastre tecnológico
Disaster sub-group	Cinco sub grupos de eventos naturales son definidos: geofísico, meteorológico, hidrológico, climatológico y biológico.
Disaster main type and sub-type	Descripción del evento de acuerdo a una clasificación predefinida
Date (start and end)	Fecha en la cual el evento empezó y termino (mes/día/año)
Killed	Número de personas confirmadas muertas y número de personas desaparecidas y consideradas muertas
Injured	Número de personas con heridas físicas, traumas o que requieren tratamiento médico inmediato como resultado directo del evento
Homeless	Número de personas que requieren refugio
Affected	Número de personas que requieren asistencia durante la emergencia; puede incluir desplazados y evacuados
Total affected	Suma de personas heridas, que requieren refugio y afectadas
Victims	Suma de muertos y del total de afectados
Estimate damage	Figura global del impacto económico del desastre, en \$USD.

Fuente: (Guha-Sapir et al. 2011)

En esta base de datos, la información es ingresada de manera que se da prioridad a los reportes de las agencias de las Naciones Unidas (UN), seguidos por los reportes de la oficina de asistencia para desastres en el extranjero de los Estados Unidos (USAID/OFDA), posteriormente los reportes gubernamentales y finalmente los reportes de la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC). Esta redundancia permite en la mayoría de los casos una revisión permanente de la información y en otros casos, incluir los eventos que no son atendidos por todas las agencias previamente listadas.

b) DESINVENTAR

La base de datos de desastres DesInventar, fue desarrollada en 1993 por la organización no gubernamental LA RED (la red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina), cómo una manera de llevar un inventario de los desastres (pequeños, medianos y catastróficos) que han ocurrido en cada uno de los países en los cuales ha sido implementada. Actualmente existen dos diferentes versiones de esta base de datos, una enfocada en los países de América latina, la cual es mantenida y actualizada por la Corporación OSSO (Observatorio Sismológico del Suroccidente) y otra enfocada en países de Asia y África, mantenida y actualizada por la “Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres” (UNISDR). La Tabla 3-2 muestra los diferentes países que cuentan con una base de datos DesInventar y el periodo de tiempo de eventos cubierto.

En esta base de datos, la información es recolectada en el tercer nivel político-administrativo (e.g. centros poblados), por lo que según la magnitud del desastre, un evento puede ser almacenado en un número variable de registros, según el número de poblaciones impactadas. Entre las variables que se recopilan se encuentran entre otras: heridos, desaparecidos, muertos, viviendas dañadas, viviendas destruidas, y número de escuelas, centros de salud, cultivos e infraestructura dañados. La Tabla 3-3 presenta un listado con varios de los campos básicos recopilados por DesInventar, junto una corta descripción de los mismos. Esta tabla ha sido tomada de la guía metodológica del DesInventar (OSSO y La Red 2009).

Tabla 3-2 Países en los cuales ha sido implementado el DesInventar

Asia	
País/Región	Periodo
East Timor	1992 - 2013
India - Orissa	1970 - 2012
India - Tamil Nadu	1968 - 2011
Indonesia	1815 - 2012
Irán	1895 - 2011
Jordania	1981 - 2012
Laos	1990 - 2012
Líbano	1980 - 2011
Nepal	1971 - 2011
Sri Lanka	1965 - 2012
Siria	1980 - 2009
Vietnam	1989 - 2010
Yemen	1971 - 2011
Maldivas	1946 - 2008
India - Mizoran	1992 - 2010
India - Uttar Pradesh	1991 - 2005
Islas Solomon	1568 - 1964
Vanuatu	549 - 2010

África	
País/Región	Periodo
Djibouti	1944 - 2012
Etiopia	1901 - 2010
Kenia	1997 - 2012
Mali	1994 - 2012
Mozambique	1979 - 2012
Uganda	1933 - 2012
Moroco	- 2011
Egipto	1980 - 2010

América	
País/Región	Periodo
Argentina	1970 - 2009
Bolivia	1970 - 2011
Chile	1970 - 2011
Colombia	1914 - 2012
Costa Rica	1968 - 2012
Ecuador	1970 - 2011
El Salvador	1900 - 2012
Guatemala	1988 - 2011
Guyana	1972 - 2012
Honduras	1915 - 2011
Jamaica	1973 - 2012
México	1970 - 2011
Nicaragua	1992 - 2011
Panamá	1929 - 2012
Perú	1970 - 2011
Uruguay	1959 - 2011
Venezuela	1530 - 2012
República Dominicana	1966 - 2000
Trinidad & Tobago	1970 - 2000

Fuente: desinventar.net, Junio/2013.

Tabla 3-3 Principales campos de la base de datos DesInventar

Campo	Descripción
Fecha inicio	Fecha del evento
Nombre geografía	Localización
Tipo evento	Tipo de Evento
Muertos	Número de personas fallecidas por causas directas. Cuando se dispone de datos oficiales finales se incluye este valor con las observaciones correspondientes, por ejemplo cuando haya diferencias entre las cifras oficialmente aceptadas y las de otras fuentes. Las presunciones sobre muertos, no verificados oficialmente, se registran en el campo -Observaciones de efectos- consignando la fuente de información.
Desaparecidos	Número de personas cuyo paradero a partir del desastre es desconocido. Incluye personas presumiblemente muertas sin evidencias físicas. Los datos de muertos y de desaparecidos son mutuamente excluyentes.
Heridos, enfermos	Número de personas que resultaron afectadas en su salud o integridad física, sin ser víctimas mortales, por causa directa del evento. Se deben incluir las personas que sufrieron lesiones y las que quedaron enfermas si se trata de una plaga o epidemia.
Damnificados	Número de personas que han sufrido grave daño directamente asociado al evento en sus bienes y/o servicios individuales o colectivos. Por ejemplo destrucción parcial o total de su vivienda y sus bienes; pérdidas en cultivos y/o en bodegas, etc. Se deben incluir también personas reubicadas.
Afectados	Número de personas que sufren efectos indirectos o de segundo orden asociados a un desastre. Corresponde al número de personas, diferentes a damnificados, que sufren los efectos secundarios por razones como deficiencias en la prestación de servicios públicos, en el comercio, o en el trabajo, o por aislamiento. Si la información aparece por familias, se debe calcular el número de personas según indicadores disponibles.
Evacuados	Número de personas evacuadas temporalmente de sus viviendas, lugares de trabajo, colegios, hospitales, etc.
Reubicados	Número de personas que han sido trasladadas desde sus sitios de vivienda a nuevos emplazamientos permanentes.
Viviendas Destruídas	Número de viviendas arrasadas, sepultadas, colapsadas o deterioradas de tal manera que no son habitables.
Viviendas. Afectadas	Número de viviendas con daños menores, no estructurales o arquitectónicos, que pueden seguir siendo habitadas, aun cuando requieran de acciones de reparación o de limpieza.
Valor pérdidas \$	Monto de las pérdidas directas causadas por el evento en moneda local
Valor pérdidas US\$	Equivalente en dólares (US\$) de las pérdidas en moneda local, según la tasa de cambio de moneda nacional en la fecha de ocurrencia del evento.
Centros hospitalarios	Número de centros de salud, clínicas, hospitales locales y regionales destruidos y afectados directa o indirectamente por el evento.
Centros de educación	Número de guarderías, escuelas, colegios, universidades, centros de capacitación, etc. destruidas y afectadas directa o indirectamente por el evento. Incluye aquellos que han sido

	utilizados como albergues temporales.
Cultivos y bosques (Ha)	Número de áreas de cultivo, pastizales o bosques destruidas y afectadas.
Ganado	Número de unidades pérdidas (ganado bovino, porcino, caprino, avícola).
Vías afectadas (m)	Longitud de redes viales destruidas y/o inhabilitadas en metros.
Valor pérdidas US\$	Equivalente en dólares (US\$) de las pérdidas en moneda local, según la tasa de cambio de moneda nacional en la fecha de ocurrencia del desastre. Este valor es útil para evaluaciones comparativas entre bases de datos.

Fuente: Guía Metodológica DesInventar - versión 8.1.9 (OSSO y LA RED 2009).

Debido al nivel territorial en el cual se almacena la información en la base de datos DesInventar, normalmente se recopila información de diversas fuentes, incluyendo agencias no oficiales y prensa escrita, por lo que se hace necesario un escrutinio constante de la información acopiada. Se han detectado en sucesivas depuraciones datos que provienen de prensa sensacionalista, fuentes oficiales y no oficiales que incrementan el impacto, y errores de digitación. Dicha información es por lo general difícil de corregir, dado que en muchos de los casos no hay elementos con los cuales contrastar, pero mediante el uso de técnicas estadísticas, e.g. identificación de *outliers* (Marulanda et al. 2008) se pueden reducir las inconsistencias.

3.1.3 Modelo de estimación de pérdidas económicas

La estimación económica de las pérdidas causadas por un evento que deriva en desastre es una tarea compleja, que requiere de un equipo de trabajo interdisciplinario, un extenso volumen de información y un periodo de tiempo suficiente para recopilar y documentar sus efectos sobre la sociedad y los diversos sectores económicos que la sustentan. El manual de la CEPAL (2003), es una guía comprehensiva que considera, entre otros, el efecto que tienen los eventos sobre la infraestructura, el medio ambiente, el empleo, los ingresos, y los sectores sociales, económicos y macroeconómicos. Sin embargo, la evaluación de los efectos económicos causados por los cientos o miles de eventos registrados en una bases de datos de desastres, requiere una metodología diferente, una que sea sencilla y replicable.

Se propone por tanto, un modelo de estimación de las pérdidas económicas producidas por los eventos que causan desastres, basado en el concepto de la responsabilidad fiscal del estado. Esta responsabilidad tiene en cuenta los activos públicos y las propiedades de los sectores más vulnerables y desfavorecidos de la sociedad (i.e. viviendas); bien sea porque comparte cierta responsabilidad (al permitir edificaciones en lugares inapropiados, por la

carencia de normativas o la displicencia en su aplicación), o bien sea por mandato constitucional o legislativo. Aunque el concepto y alcance de responsabilidad varía de un país a otro (Marulanda, 2013), para efectos de la presente tesis, este es definido como la solidaridad del Estado con los sectores vulnerables, es decir, los sectores sociales que carecen de los recursos suficientes para superar por sí mismos los daños producidos por los eventos.

El portafolio de inmuebles de responsabilidad fiscal, será conformado por:

- Viviendas de la población vulnerable.
- Edificaciones públicas usadas para la atención médica y los servicios de salud.
- Edificaciones públicas usadas para la educación y otros servicios culturales.
- Edificaciones públicas usadas para la labor administrativa del gobierno y sus diferentes ramas.

Como se busca cuantificar el costo económico directo que han tenido los desastres sobre la población vulnerable, se limitará la evaluación de los daños a los campos de las bases de datos que puedan relacionarse con los efectos del evento sobre este sector de la población, lo que corresponde principalmente a vivienda, salud y educación. El costo estimado para cada evento, será entonces la mínima pérdida económica ocurrida sobre la sociedad debido a la ocurrencia del evento. El valor unitario de reposición será el correspondiente a una unidad social equivalente del elemento impactado, es decir, por ejemplo para el caso de la vivienda, una unidad destruida tendrá un costo estimado equivalente al de una vivienda básica de interés social. Esta condición se debe en parte a la información disponible en las bases de datos, donde se cuenta con el número de unidades dañadas pero no se conocen las características originales de cada elemento y por otra parte, dado a que se considera el concepto de la responsabilidad fiscal del Estado, donde el Estado subsidiaría unidades con las condiciones mínimas de habitabilidad.

El objetivo de la metodología propuesta es el de obtener mediante un proceso fácilmente replicable el costo mínimo que el evento ha incurrido en la sociedad. Este método no debe ser usado para estimar el costo real de los desastres; ni tampoco debe ser comparado con metodologías más robustas, donde se estudian con detalle los efectos directos, indirectos y macroeconómicos. Este modelo trata de estimar un valor perdido en desastres anteriores, de manera que se pueda usar para estimar –si las tendencias actuales se conservan– el monto mínimo de recursos necesarios para soportar futuros eventos.

a) Postulados

El modelo de costos se propone teniendo en cuenta las siguientes hipótesis básicas:

- Solo se incluyen en el estudio los elementos impactados que puedan considerarse parte de la responsabilidad fiscal del estado, es decir, aquellos que debido a su carencia afecten el bienestar y el desarrollo de la población vulnerable. Por ejemplo, se consideran las viviendas, los centros de salud, las escuelas y las vías.
- En el caso de viviendas destruidas, se considera que la pérdida ha sido total, es decir del 100% del inmueble. Si bien, puede ocurrir que un inmueble no sea totalmente destruido, a efectos prácticos, cuando el daño supera cierto porcentaje (e.g. 70%), la inversión requerida para su rehabilitación es por lo general equivalente al costo de construcción de un elemento nuevo.
- Para las viviendas afectadas, se utiliza una pérdida promedio del 25%.
- En el caso de centros de salud y escuelas, se estima un área mínima de la edificación que permita su función social. Para la estimación económica del costo de reemplazo de estos elementos se usará el costo por metro cuadrado de vivienda calculado.
- Los costos estimados de reposición de los diferentes elementos considerados, no incluyen el costo del terreno. Se considera que el terreno puede ser reutilizado o que el gobierno puede asignar nuevas áreas para estos elementos.
- No se incluyen los costos indirectos del evento (e.g. alojamiento temporal, demolición, remoción y limpieza) en el modelo económico.
- Se excluye además el costo de los contenidos y enseres.
- La única infraestructura pública que se incluye en la evaluación, son las vías. Esto obedece a la complejidad de estimar el valor de otro tipo de infraestructura, donde el costo depende de las características del elemento (por ejemplo en el caso de puentes: longitud, elevación, número de apoyos, distancia entre pilas, etc.). Esto quiere decir, que entre otros elementos se excluyen: los sistemas de tratamiento de agua potable, los sistemas de tratamiento de aguas servidas, las centrales de producción de energía eléctrica, las centrales y redes de distribución de servicios domiciliarios (acueducto, electricidad, comunicaciones, etc.) y los puentes.
- No se considera la afectación sobre los cultivos y el ganado pertenecientes a la población vulnerable (e.g. población rural de bajos ingresos) y que pueden ser objeto de políticas de ayuda. Esto debido a la

complejidad de diferenciar este impacto de sectores productivos agroindustriales; a la carencia de detalles en los reportes (tipo de cultivos y su área respectiva); y debido a que el costo de estos elementos es función del tipo de cultivo (o ganado) y la etapa del ciclo agrícola o productivo en la cual se encuentran (e.g., siembra, recolección, crianza, engorde, sacrificio) en el momento del desastre. Aún más, en ciertos casos y en ciertos cultivos, el efecto de un evento sobre el mismo puede ser positivo (e.g., inundaciones y cultivos de arroz).

- No se incluye la afectación que ocurre sobre bosques, dada la dificultad que existe para estimar el costo por su pérdida y a que muchas veces se deja a la naturaleza la tarea de repoblar las áreas dañadas.
- Los campos concernientes al impacto humano han sido descartados, debido a las dificultades técnicas y morales que implican su consideración.
- Los valores serán expresados en dólares norteamericanos, lo cual permitirá obtener valores que pueden ser comparados con otros países.

b) Valoración económica de viviendas

Para valorar el efecto económico que los eventos pasados han tenido sobre las viviendas, es necesario definir el costo de reposición de estos elementos, para lo cual se emplearan las características básicas de las viviendas de interés social prioritario unifamiliar. En la mayoría de los países analizados, la definición de lo que constituye una vivienda de interés social (VIS) no se encuentra establecido en documentos oficiales y son las diferentes agencias de bienestar social las encargadas de definir sus propios lineamientos, ver Tabla 3-4.

Dado que las características de las viviendas de interés social han ido variando con el tiempo, son diferentes entre países y aún más, pueden ser diferentes entre las diferentes agencias que en un mismo país se encargan de esta problemática, se usará la información recopilada en la Tabla 3-4 ha manera de guía. Como ejemplo de la situación legislativa alrededor del tema de vivienda se presentan los casos de Colombia y México. En el caso de Colombia, solo a partir del año 2004 se definió formalmente mediante decreto gubernamental las características básicas de lo que constituye una VIS, decreto que ha sido modificado en 2013, y donde se incluye, la vivienda de interés social prioritario, o VIP, para los municipios con una población inferior a los 50 000 habitantes. En el caso de México sólo desde abril del 2013, se empieza a hablar de la necesidad de establecer un tamaño mínimo legal para las viviendas (Notimex 2013).

La Tabla 3-4 presenta un resumen con los valores de área y costo para las VIS de algunos países de América Latina, estos valores han sido obtenidos de decretos gubernamentales, manuales de prácticas de las entidades encargadas de gestionar el déficit de vivienda y de recopilaciones de ingenieros y arquitectos. Las áreas reportadas corresponden en varios casos a unidades no desarrolladas, lo que significa que se deja abierta la posibilidad de una ampliación futura (e.g. un nuevo piso).

Tabla 3-4 Valores mínimos de área y precio de vivienda social en varios países de América Latina

País	Fuente	Periodo	Área mínima	Costo
Argentina	Subsecretaria de desarrollo urbano y vivienda, 2007	2007	44 m2	No especifica.
Bolivia	Dirección General de Vivienda, 2003	> 2003	36 m2 (25 m2 para vivienda progresiva)	No especifica.
Perú	Ley 26912	> 1999	No especifica	35 Unidades impositivas tributarias
Colombia	Inurbe, 1995	1990 – 2003	32 m2	135 SMLMV
Colombia	Decreto 2083 de 2004	2004 – 2013	35 m2	No especifica
Colombia	Decreto 0075 de 2013	> 2013	No especifica.	70 SMLMV
Costa Rica	Held (2000)	No especifica.	30 – 100 m2	No especifica.
México	Sanchez Corral, 2010a	> 2010	48.8 m2	117 SMLMV (Distrito Federal)
Chile	Held (2000)	No especifica.	40 m2	210 – 260 Unidades de fomento
Paraguay	Fonavis, 2011	> 2011	36 m2**	33 Unidades de salario mínimo
Uruguay	Ley 13728	> 1968	32 m2	No especifica.

* SMLMV: Salario mínimo legal mensual vigente.

** Solo se presenta la información correspondiente a la política de vivienda para la población con ingresos inferiores a un salario mínimo.

La CEPAL en su manual de 2003, consciente de la dificultad que representa la correcta estimación del costo de las viviendas dañadas por el evento, dada la diversidad de tipologías, tamaños y acabados, sugiere que para la estimación económica de los daños sobre viviendas y asentamientos humanos se equipare cada metro cuadrado de construcción al valor del salario mínimo vigente. Uno de los elementos más notorios de la Tabla 3-4, es el hecho, que algunos países definen el costo de la VIS en función del salario mínimo, esto toma en consideración el poder adquisitivo de las familias a las que van dirigidas estas

viviendas, y además permite en algunos casos modificar algunas características para obtener proyectos que cumplan los requerimientos básicos en áreas donde el costo del terreno es un factor importante.

Área de la vivienda

Como se puede observar en la Tabla 3-4, no hay un criterio único de cuál debe ser el área de la vivienda de interés social, más aún, este ha cambiado en el tiempo y es diferente para cada país. Es importante anotar, que varios de los valores mostrados, corresponden a unidades que permiten una ampliación futura, mediante el desarrollo de un nivel adicional. Para efectos del presente modelo, se plantea la posibilidad de usar un valor de 45 m², lo cual considerando que los valores de 32 a 35 m² corresponden a unidades de vivienda no desarrolladas y que se obtendría una densidad poblacional entre 15 a 9 m²/persona para familias de 3 a 5 integrantes respectivamente.

Costo por unidad de área

Para definir el costo de las viviendas con las que se reemplazarán las unidades afectadas y destruidas, se requiere una metodología que pueda ser fácilmente replicable, tanto si se analiza uno o varios países. Se estudió la posibilidad de utilizar otros valores de referencia, pero no siempre se tienen disponibles valores de dichos indicadores económicos (e.g. salario mínimo). Para la estimación del costo por metro cuadrado de construcción se emplea una fracción del Producto interno bruto por habitante (PIB per cápita).

Para efectos de encontrar una relación entre el PIB per cápita y el costo de una unidad de VIS, se hace uso de los valores por metro cuadrado de construcción reportados en el “Global Construction Cost and Reference Yearbook” (Compass International, 2012). La Figura 3-2 presenta una comparación para 93 países, entre el costo mínimo de construcción, sin incluir el costo del terreno reportado en el anuario y el valor del PIB per cápita (World Bank Group), donde se obtiene una correlación del 59%. Realizando este mismo ejercicio, contra el valor del salario mínimo del sector de la construcción del mismo anuario, se obtuvo una correlación del 40.7%.

Cuando se limitó el número de países de la muestra y se seleccionó únicamente los que reportaban explícitamente el costo mínimo del metro cuadrado de construcción de vivienda social (Edificios de apartamentos de vivienda social de 3 a 6 pisos) y se realizó la comparación contra el valor del PIB per cápita de estos 16 países seleccionados obtenidos del mismo anuario estadístico, se

obtuvo una correlación de 85.7%, Figura 3-3; la comparación contra el salario mínimo dio una correlación del 80%.

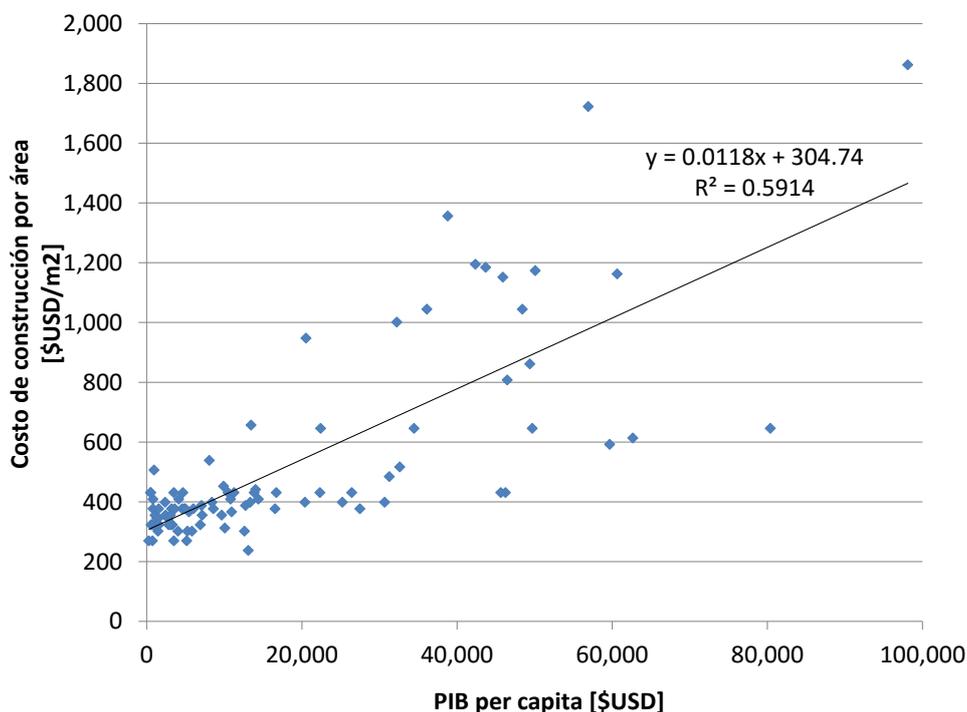


Figura 3-2 Relación entre el costo por construcción y el PIB per cápita, considerando 93 países.

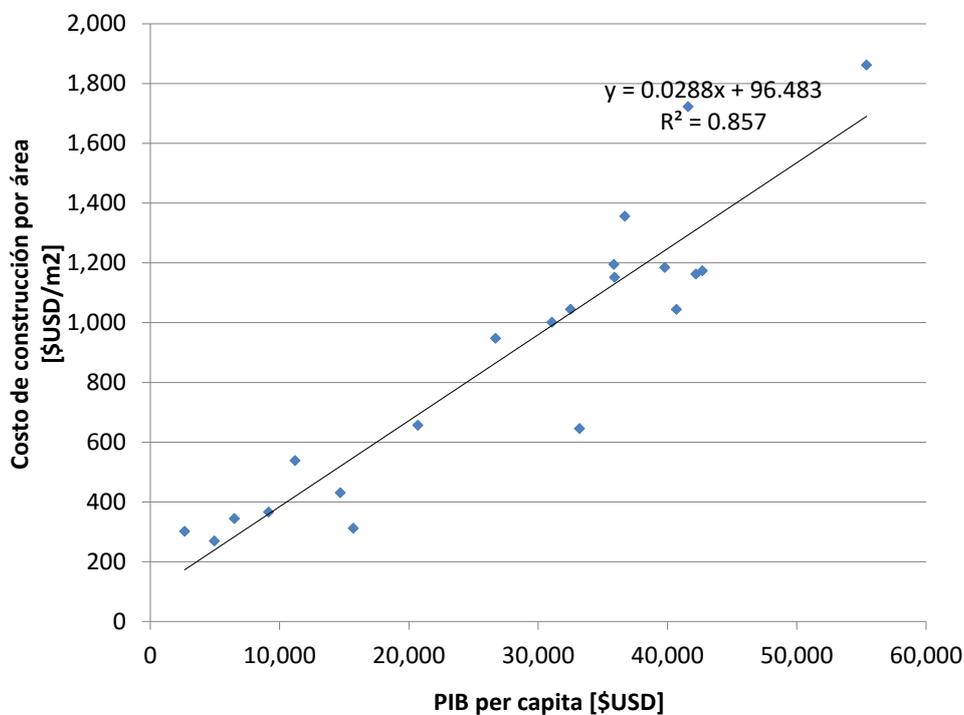


Figura 3-3 Relación entre el costo por construcción y el PIB per cápita, considerando 16 países

Finalmente, se considera también la aplicación de un factor que permita considerar los costos relacionados al urbanismo de los predios en los cuales se realizara la nueva construcción, que entre otros elementos tenga en cuenta: redes de servicios domiciliarios, vías y andenes internos, saneamiento y zonas verdes. Dicho factor ha sido estimado, en base a una muestra muy limitada de ejemplos que se han obtenido del Departamento Nacional de Planeación de Colombia y se ha establecido en un 40% del costo de la edificación. Este valor es un promedio ya que el valor final del urbanismo depende de factores como topografía, calidad de las obras, número de unidades de vivienda, entre otros.

c) Escuelas y centros de salud

Para la evaluación económica de escuelas y centros de salud, se presenta una deficiencia importante en la información requerida, ya que no se cuenta con una descripción de las características básicas, tales como: área construida, número de personas que pueden atender, o servicios disponibles. Por lo anterior, de manera que se pueda considerar los efectos de los eventos sobre estos elementos se ha decidido, asumir un área mínima que cada uno de estos debería tener para cumplir con su función social, el área establecida será posteriormente multiplicada por el valor del metro cuadrado de vivienda obtenido del numeral anterior. La Tabla 3-5 presenta los elementos considerados para la estimación del área para las escuelas, de manera similar la Tabla 3-6 presenta los elementos para los centros de salud.

Para efectos de la metodología que se propone, considerando que estas edificaciones cumplen una importante labor social, se estima que cuando no han sido destruidas por el desastre serán reubicadas y que cuando lo han sido, serán reconstruidas en un área más adecuada, por lo que se empleara en todos los casos el valor completo de reposición para cada elemento reportado. Es importante anotar que, en ningún caso se consideraran los contenidos, ni otros costos diferentes a los costos directos de la nueva construcción.

Tabla 3-5 Área estimada de una escuela básica

Elemento	Cantidad	Dimensiones	Área
Aulas	2	5 x 6 m	60 m ²
Administración	1	3 x 4 m	12 m ²
Bodega	1	1x 3 m	3 m ²
Total			75 m²

Tabla 3-6 Área estimada de un centro de salud básico

Elemento	Cantidad	Dimensiones	Área
Sala de espera	1	3 x 4 m	12 m ²
Consultorio	1	3 x 4 m	12 m ²
Atención primaria y primeros auxilios	1	5 x 4 m	20 m ²
Bodega y deposito	1	2 x 2 m	4 m ²
Total			48 m²

d) Vías

Para el análisis del costo de reemplazo de las vías afectadas, considerando que estas pueden tener muy variadas características según el país, su acceso a materias primas y tecnología, y su nivel de desarrollo, se hará uso de la información recopilada por el sistema de costos de vías – ROCKS (por sus siglas en inglés, ROad Costs Knowledge System) del Banco Mundial (2002).

Este proyecto, recopilo información referente a la distribución y costo de los diferentes sistemas viales en cerca de 40 países. Es importante anotar que los costos recopilados, están en dólares Estadounidenses del año 2000, por lo que se requiere una corrección como la que se presenta en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7 Corrección por inflación de valores en USD del 2000

Año	2000	2010	2011	2012	2013
Valor equivalente	1.00	1.27	1.31	1.33	1.35

Fuente: Bureau of labour statistics, USA

Dado que en general se desconocerá el material de cada metro de vía dañado por cada evento, se propone estimar un valor promedio para cada país. Dicho valor estará basado en la información disponible del porcentaje de vías asfaltadas con respecto al total de cada país, información disponible en el sistema de indicadores del Banco Mundial (World Bank Group). Dado que las vías en grava son más baratas que las vías en concreto y no mucho más costosas que las vías en tierra, como indica la Tabla 3-8; y a que se desconoce la distribución de materiales del porcentaje de vías no asfaltadas, se asumirá que dicho porcentaje corresponde a vías en grava. Finalmente, ya que los países no actualizan regularmente en el sistema de indicadores, el porcentaje de vías asfaltadas, se hará uso del último valor consignado.

Tabla 3-8 Costo promedio por km de reconstrucción de vías

Material	Región				
	Mundo	Asia	África	América Latina	Europa
	USD*	USD*	USD*	USD*	USD*
Tierra	23,978	n.d.	25,774	14,996	n.d.
Grava	47,391	59,250	42,273	38,246	n.d.
Asfalto	231,071	231,367	217,221	176,010	258,430
Concreto	247,697	214,023	n.d.	310,955	622,198

* Valores para el año 2000

Fuente: ROCKS, 2002

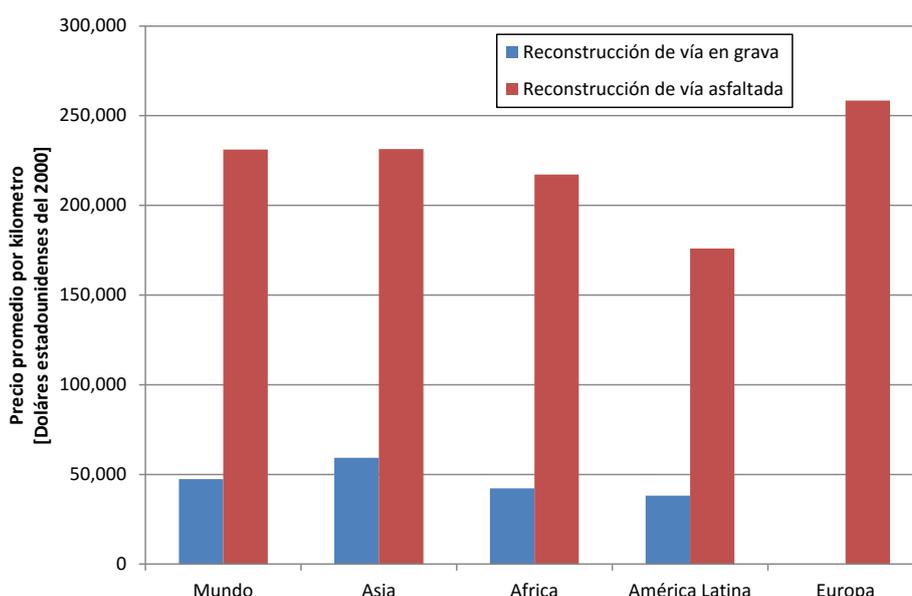


Figura 3-4 Costo promedio de reconstrucción de vías en varias regiones del mundo.

Fuente: ROCKS, 2002

3.1.4 Metodología propuesta para el análisis retrospectivo del riesgo de desastres

A continuación se describen los pasos necesarios para realizar la evaluación económica de las pérdidas que los eventos pasados han causado sobre la sociedad. Esta evaluación permite a su vez, que se pueda comprender la problemática que los desastres y en especial, los desastres menores y frecuentes, representan para la sociedad.

La metodología propuesta consiste en:

- i. Seleccionar los registros relevantes de la base de datos;

- ii. Agrupar los registros que se consideran son causados por un mismo evento;
- iii. Evaluar la pérdida económica que cada evento ha causado; y
- iv. Realizar un análisis de frecuencias de manera que se pueda obtener la curva de excedencia de pérdidas empírica o retrospectiva.

a) Selección de la base de datos

Si bien, se tienen a disposición dos bases de datos públicas de desastres, EM-DAT (CRED) y DesInventar (OSSO, UNISDR), existen diferencias importantes entre ambas que las hacen más o menos adecuadas para ser empleadas por la metodología propuesta. Entre las principales diferencias se destacan: el umbral de impacto necesario para que la afectación ocurrida durante un evento sea registrada, la unidad administrativa en la cual se almacenan los efectos, y el número de campos empleados para describir dichos efectos. Considerando lo anterior, la resolución espacial, el número de registros y el número de variables almacenadas (y que las mismas están en concordancia con las suposiciones del modelo de costos que se propone) se ha seleccionado la base de datos de desastre DesInventar para realizar el análisis retrospectivo de riesgo. La Tabla 3-9 y la Figura 3-5 presentan a manera de ejemplo una comparación adicional para un país específico (Colombia), el número de registros disponible en las bases de datos EM-DAT y DesInventar.

Tabla 3-9 Comparación de las bases de datos por número de registros y periodo

Base de datos	Periodo	Número de registros
DesInventar	1914-2011	30,761
EM-DAT	1906-2011	228

En la tabla anterior se puede observar que, el número de registros disponible en la base de datos EM-DAT, es insuficiente para realizar un análisis estadístico que permita identificar patrones y tendencias de riesgo. La Figura 3-5 presenta una comparación gráfica del número anual de registros disponibles en cada base de datos.

La base de datos DesInventar cuenta con información suficiente que satisface los requerimientos del modelo de costos propuesto, con variables que dan cuenta de la afectación del desastre sobre las viviendas, los centros de salud, las escuelas y las vías. Para esta metodología, se asume que, en general, los registros corresponden al impacto sobre los sectores vulnerables de la población, esto debido a que la base de datos DesInventar tiene un registro predominante y extenso de eventos menores que en su mayoría afectan áreas

subnormales, marginales o periféricas de las ciudades, las pequeñas poblaciones y zonas rurales.

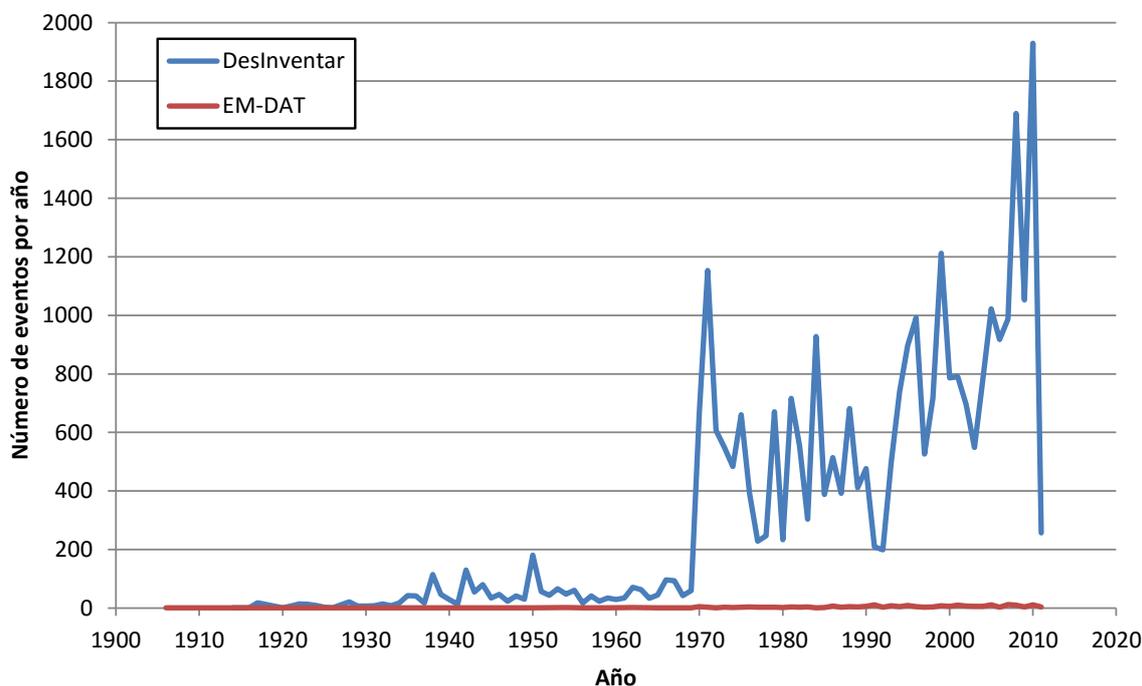


Figura 3-5 Comparación entre el número de registros de las bases de datos de desastres DesInventar y EM-DAT .

Para su uso en la presente metodología, los registros contenidos en la base de datos DesInventar deberán someterse a un proceso previo de filtrado, agrupación y valoración, de manera que la información contenida, correspondiente a la afectación desagregada del desastre pueda ser consolidada y que se pueda disponer de una estimación económica de las pérdidas causadas por el evento.

b) Periodo de análisis

Es posible que la base de datos tenga periodos en los cuales haya un número muy bajo o incluso nulo de registros, como se ilustra en la Figura 3-5. Es por esto, que es necesario determinar una fecha de corte, a partir de la cual se puede considerar que la base de datos presenta una regularidad en el número de eventos registrados. La Figura 3-6 presenta de manera acumulada los eventos reportados en tres diferentes bases de datos. Al observar las diferentes inflexiones de cada serie, y considerando la tendencia de reportes actual como con la frecuencia real de eventos, es posible determinar el año a partir del cual la base de datos empieza a mostrar un reporte uniforme de eventos.

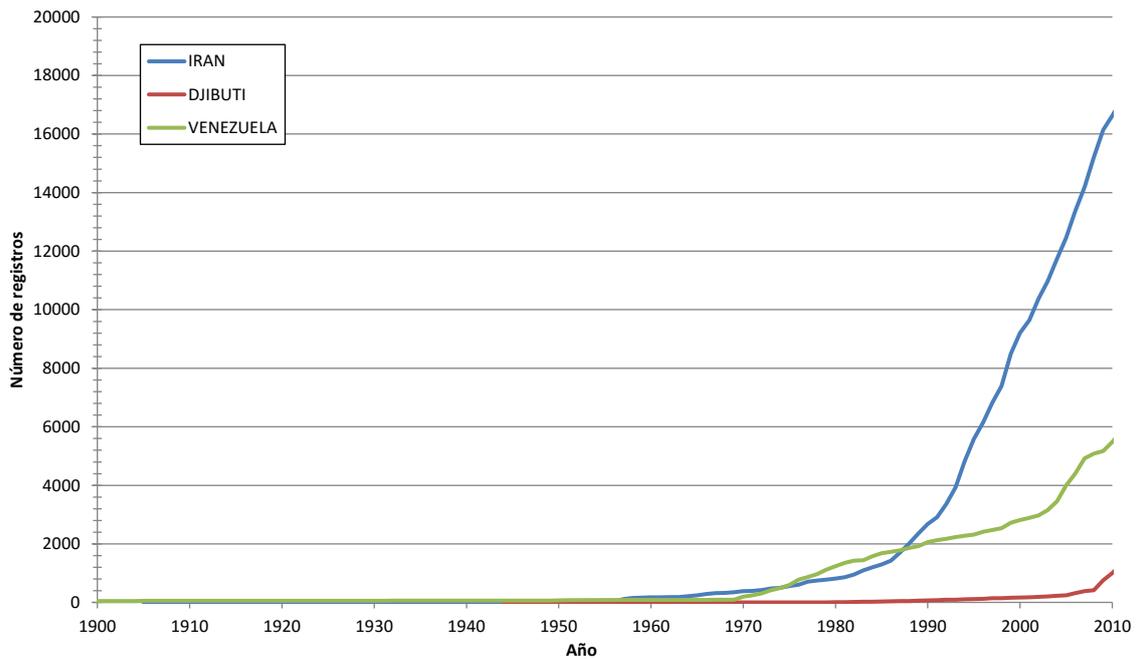


Figura 3-6 Número acumulado de eventos de varias bases de datos
DesInventar

Otro elemento que es necesario considerar es la relevancia de las consecuencias reportadas considerando la situación de exposición actual. Si la exposición al momento de los desastres varía notablemente con respecto a la situación actual, es necesario acotar el periodo de análisis a uno en el cual las características sean similares. Dado que en general la vida media de las edificaciones se estima durante diseño en 50 años y que las bases de datos, normalmente un nivel de completitud adecuado sólo en los últimos 40 años, se considera que un periodo de análisis seleccionado en dicho rango mantendría unas condiciones de exposición similares y adecuadas para el análisis retrospectivo del riesgo que se propone.

Sin embargo, es importante resaltar como variaciones en la exposición pueden llevar a errores en las estimaciones del riesgo. En el caso de una exposición mayor, sin las adecuadas mejoras en materiales y tecnologías constructivas se pueden esperar pérdidas superiores a las estimadas. En el caso contrario, cuando existen mejoras en códigos, normas y prácticas constructivas implementados para nuevos desarrollos, se espera que los resultados calculados se mantengan válidos, al menos en el corto plazo debido al stock existente de edificaciones, y que sean reducidos a futuro.

c) Clasificación y filtrado de eventos

Considerando que existe un largo glosario de términos que se pueden usar para describir los diferentes fenómenos naturales que se materializan en una región, y que dichos términos pueden ser distintos para el mismo fenómeno en diferentes regiones. Aún más, debido a que muchos reportes de afectación son diligenciados por personal administrativo, que hace uso de términos locales, es necesario clasificar cada registro en categorías que permitan un análisis más robusto.

La Tabla 3-10 muestra las diferentes categorías de fenómenos naturales consideradas, el uso de estas o la adición de nuevas depende de las amenazas presentes en la región de estudio. En esta etapa no se considera la relación causa-efecto que se puede esperar entre diferentes eventos (e.g. precipitación-deslizamiento), esta relación será atendida en el próximo paso “Agrupación de eventos”.

Tabla 3-10 Categorías de fenómenos naturales a emplear

Categoría de Eventos	Descripción
Tectónicos	Relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
Deslizamientos	Eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
Volcánicos	Eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piroclásticos, cenizas.
Hidrometeorológicos	Eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros fenómenos en los que la afectación es debida a la condensación del aire.
Huracanes	Son eventos hidrometeorológicos extremos, y como tales merecen un análisis separado.
Sequías	Eventos climáticos en los que la afectación es debida al stress hídrico debido a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.

Aunque comúnmente la base de datos DesInventar incluye eventos antrópicos entre sus registros, estos han sido descartados de la presente metodología, ya que debido a ser causados por actividad humana, estos no presentan los mismos patrones de ocurrencia que los fenómenos naturales, y adicionalmente requieren políticas muy específicas para su reducción y tratamiento.

La Tabla 3-11 presenta la clasificación a emplear entre causas halladas en una base de datos DesInventar y las categorías previamente definidas. Esta lista, no es exhaustiva, por lo que pueden llegarse a encontrar nuevos términos, según el país y la base de datos analizada. Entre los eventos descartados se cuentan los incendios forestales, dado que en un importante número de estos son causados

por el comportamiento del hombre (FAO 2007, WWF 2005, Parlamento Europeo 2008), bien sea por descuido, omisión o intención, por lo que su empleo queda a la consideración particular en cada caso donde se desee replicar la presente metodología, en función de la información y el conocimiento local de este tipo de desastres.

Tabla 3-11 Relación de causas y categorías

Categoría	Causas incluidas		
Tectónicos	Sismo	Tsunami	
Volcánicos	Actividad Volcánica		
Deslizamientos	Alud	Deslizamiento	
Huracanes	Huracán	Ciclón	
Hidrometeorológicos	Aluvión	Avenida torrencial	Cambio línea de costa
	Granizada	Helada	Inundación
	Lluvias	Marejada	Neblina
	Nevada	Onda fría	Tempestad
	Tormenta eléctrica	Tornado	Vendaval
Sequia	Ola de calor	Sequía	

d) Agrupación de eventos

Actualmente, cuando un desastre ocurre se puede considerar el uso de un identificador único a nivel internacional. Este identificador puede ser provisto por la plataforma GLIDENumber, una iniciativa internacional en la cual participan entre otras organizaciones UNISDR, UNDP, IFRC, WMO y la FAO. La ventaja de este sistema es que permite, en caso de ser deseado, agrupar los distintos efectos causados por un evento en diferentes lugares, a la vez que se mantienen los registros individuales para cada región afectada. Desafortunadamente, el sistema GLIDE es posterior al año 2000, por lo que es necesario definir un mecanismo de agrupación para los registros previos y posteriores que no hacen uso de dicho indicador.

La base de datos DesInventar almacena los registros con las consecuencias de los desastres a nivel municipal, por lo que se presentan casos en los que un único desastre es recopilado en un número importante de registros, uno por cada población impactada. Esto significa que para desastres que ocurren sobre una vasta extensión de área, como es el caso de terremotos, un solo evento puede tener sus consecuencias dispersas espacialmente, en un número de registros igual al número de poblaciones sobre las cuales se manifiesta el fenómeno. En el caso de fenómenos que persisten por días, como tormentas tropicales, las consecuencias de un evento pueden a su vez estar separadas temporalmente. Considerando también, que se desea evaluar el impacto total del desastre y el costo que el mismo pudo haber conllevado a las finanzas públicas, en el caso en el que el gobierno, además de responsabilizarse de su

infraestructura y edificaciones, socorra la población que por sus condiciones socio-económicas no pueda hacer frente a dicho evento. Es por lo anterior que se requiere un proceso que permita identificar y agrupar las consecuencias dispersas de los desastres (tanto de manera espacial, como temporal).

La Tabla 3-12 muestra los intervalos de tiempo definidos en la metodología para que registros de una misma categoría sean agrupados dentro de las consecuencias de un único evento. Dado que existe la posibilidad en la cual un evento de una categoría sea la principal causa para que un evento secundario de la misma u otra categoría ocurra, dicha tabla además contiene intervalos de tiempo durante los cuales una relación de causa y efecto, en eventos de diferentes categorías puede asumirse. Los intervalos de tiempo de la Tabla 3-12 se presentan a manera de ejemplo, ya que los mismos dependen de un análisis riguroso de la base de datos y de las amenazas presentes en cada región.

La agrupación espacial puede realizar sobre cualquiera de los diferentes niveles político-administrativos disponibles en la base de datos. Esta agrupación, en general, depende del tamaño del país o región a evaluar, y del tamaño medio de los eventos esperados. Aunque esta agrupación espacial puede presentar deficiencias (agrupa registros de poblaciones alejadas pero pertenecientes a la misma región, mientras que ignora los registros de poblaciones vecinas pero pertenecientes a diferentes regiones), es la manera más sencilla y expedita, dada la información disponible en la base de datos.

Tabla 3-12 Criterios de agrupación temporal

Causa	Consecuencia	Tiempo transcurrido [días]
Sequia	Sequia	15
Huracanes	Huracanes	5
	Hidrometeorológicos	5
	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	2
	Deslizamientos	2
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Tectónicos	Tectónicos	2
	Deslizamientos	3
	Volcánicos	2
Volcánicos	Volcánicos	5
	Tectónicos	5
	Deslizamientos	5

Una vez realizado el proceso de agrupación temporal y espacial, todas las consecuencias reportadas en los diferentes registros que se consideren parte de un mismo evento, son agrupadas en el primer registro de la serie y los demás registros son removidos del análisis.

e) Evaluación económica

La base de datos DesInventar, cuenta con variables cuantitativas en cada uno de sus registros que corresponden con el modelo de estimación de pérdidas planteado, i.e. daño sobre viviendas, escuelas, centros de salud y metros de vías. Adicionalmente a los campos anteriores, la base de datos también contiene campos lógicos complementarios (i.e. falso o verdadero) que indican si hubo (o no) daños en cualquiera de los mismos. Por lo anterior, en los casos en los que no se haya almacenado afectación cuantitativa alguna, pero en los cuales la correspondiente variable lógica indique que si se presentaron daños, se asignara un elemento impactado para la respectiva variable en el modelo de costos.

En esta tesis, la estimación económica de los costos de los eventos agrupados (procesados siguiendo los pasos anteriores), incluirá únicamente la valoración de las pérdidas directas causadas, como se indicó en la sección 3.1.3. Esta valoración se referirá al costo mínimo en términos de restitución de activos que habría requerido realizar el gobierno para cubrir su responsabilidad fiscal (reposición de vivienda con unidades básicas o de interés social, reconstrucción de infraestructura y servicios sociales básicos). De esta forma se puede estimar un costo mínimo que hubiera tenido la recuperación post-desastre en cada uno de los eventos evaluados. Esto permitirá poner en perspectiva el monto de los recursos económicos que se requieren en promedio, por parte del gobierno central, para la recuperación ante futuras emergencias de mantenerse la frecuencia actual de desastres. Para esto se hará uso de los valores obtenidos en el numeral 3.1.3, los cuales corresponden a los valores unitarios mínimos de cada elemento del análisis.

Las valoraciones económicas de cada uno de los elementos afectados por un evento se basa en simplificaciones y supuestos, que han sido realizados con el mejor criterio posible, considerando además el uso futuro de los resultados esperados, buscando obtener un costo mínimo de los desastres mediante una metodología sencilla y replicable; por lo tanto, el modelo actual está abierto a discusión y mejoras.

f) Módulo para la evaluación retrospectiva del riesgo

La metodología propuesta ha sido implementada en un módulo llamado LEC_C, el cual ha sido desarrollado para la plataforma DesInventar.net, y su uso se explica en el Anexo 4. El modulo permite, usando la información disponible en la plataforma, realizar la evaluación del riesgo retrospectivo directamente desde la misma herramienta desde la cual se recopila la información. Las evaluaciones pueden ser realizadas para cada base de datos DesInventar disponible, lo que

puede ser el caso de países individuales o conjuntos de los mismos. El modulo fue desarrollado usando las mismas tecnologías web y licencia que la plataforma base, lo cual permite una adecuada integración e implementación al interior de la misma.

3.1.5 Resultados esperados

Una vez realizada la valoración económica de las diferentes consecuencias registradas en los eventos procesados, es posible realizar un estimativo del costo total que estos desastres han implicado (o que habrían implicado para el gobierno central en el marco de su responsabilidad fiscal) en el período analizado. El valor estimado de las pérdidas causadas por los diferentes desastres puede considerarse un estimativo conservador, dada la simplificación de modelo de costos, la omisión de algunos efectos registrados y que se ha realizado una valoración moderada utilizando un valor mínimo o social. Sin embargo estos resultados son representativos de los efectos, en especial el de los pequeños y medianos eventos, los cuales son usualmente ignorados por su aparente bajo impacto económico individual. A continuación se muestran varias figuras a manera de ejemplo de los resultados esperados.

La Figura 3-7 presenta en base al nivel de daño causado, el porcentaje de municipios que se encuentran en diferentes niveles de amenaza por cada una de las categorías de eventos considerados.

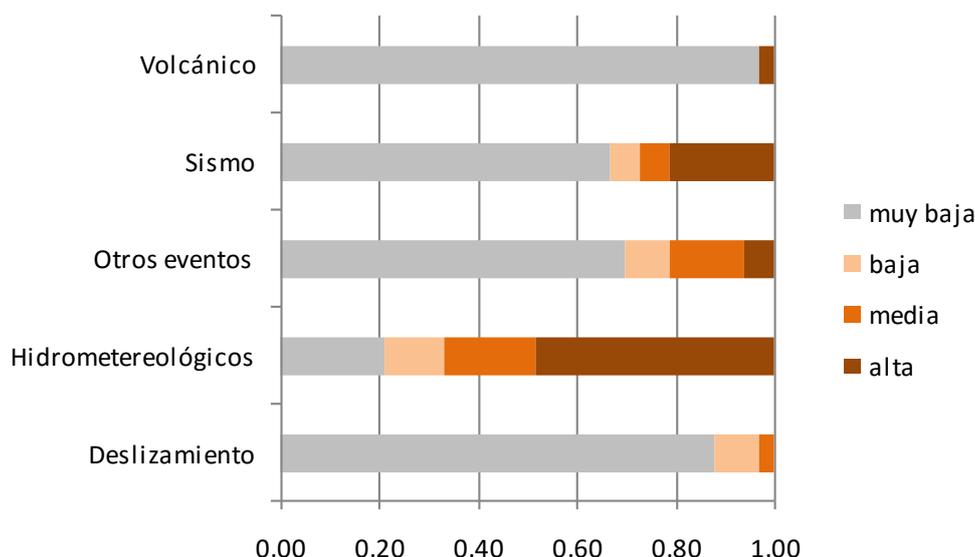


Figura 3-7 Porcentaje de municipios según nivel de amenaza.

La Figura 3-8 compara para diferentes periodos de retorno, las pérdidas económicas entre categorías. En este caso en particular muestra que en periodos de tiempo cortos los fenómenos hidrometeorológicos son los que impactan con

mayor dureza los diferentes municipios, y que en periodos de tiempo un poco más largos, son los eventos sísmicos los que comienzan a tener mayor importancia. Esta figura, permite establecer que para el caso colombiano, el riesgo prospectivo para eventos con periodos de retorno superiores a 50 años, debe basarse en la amenaza sísmica.

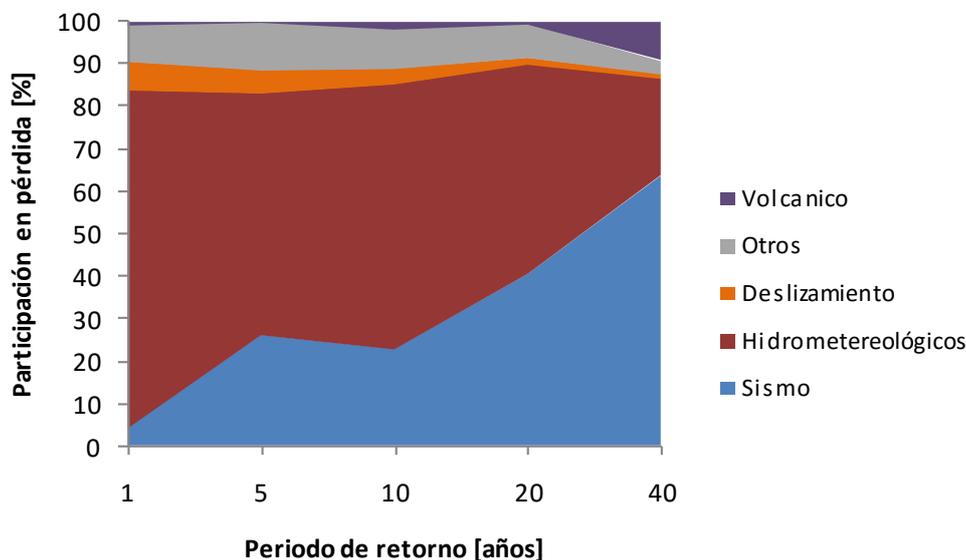


Figura 3-8 Comparación según el periodo de retorno del costo económico de los desastres de las diferentes categorías de fenómenos naturales.

El comportamiento histórico de las pérdidas puede observarse en la Figura 3-9. Esta figura muestra además el valor acumulado y la representación gráfica de la pérdida anual promedio (AAL).

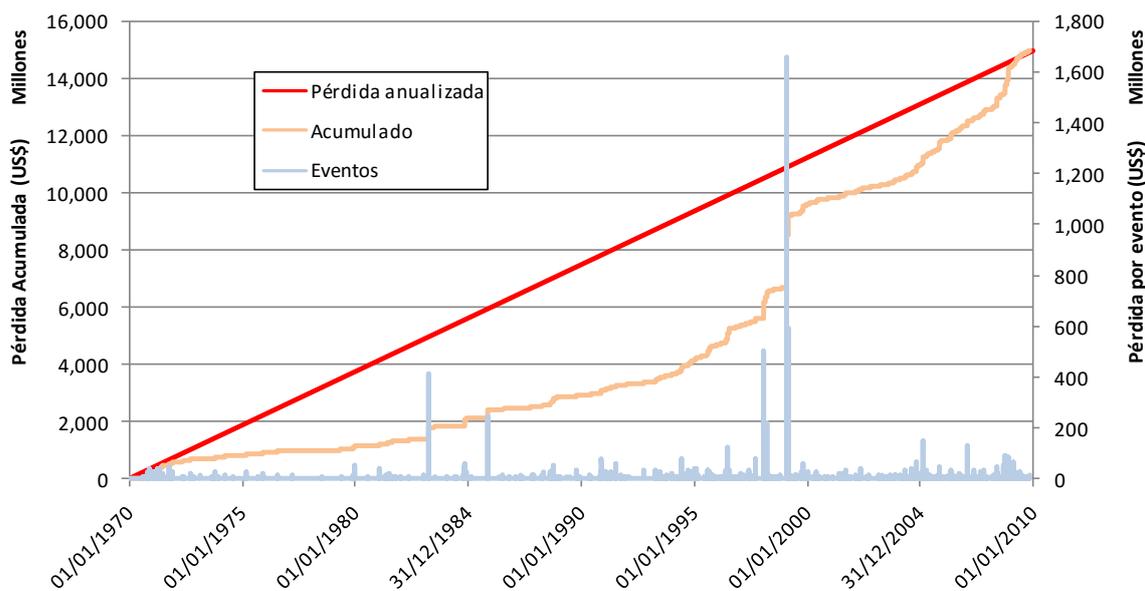


Figura 3-9 Comportamiento histórico de pérdidas económicas por desastres.

Un análisis adicional sobre la figura anterior, se puede realizar al acumular las pérdidas económicas empleando el índice de paridad de poder adquisitivo (PPP, por sus siglas en inglés) generadas por los diferentes eventos en rangos de años, como se muestra en la Figura 3-10. Estos rangos pueden corresponder con periodos de gobierno, con lo cual se evidencia el monto mínimo de recursos que fueron necesarios durante cada mandato para cubrir la responsabilidad fiscal del estado. Esto permite concretar la idea del riesgo de una manera más directa, ya que se omite (sin descartar) la discusión de los eventos catastróficos, en la cual debido a los amplios periodos de retorno, se considera que es el problema de administraciones (o incluso generaciones) futuras, permitiendo tener el riesgo debido a fenómenos naturales como un tema central e importante.

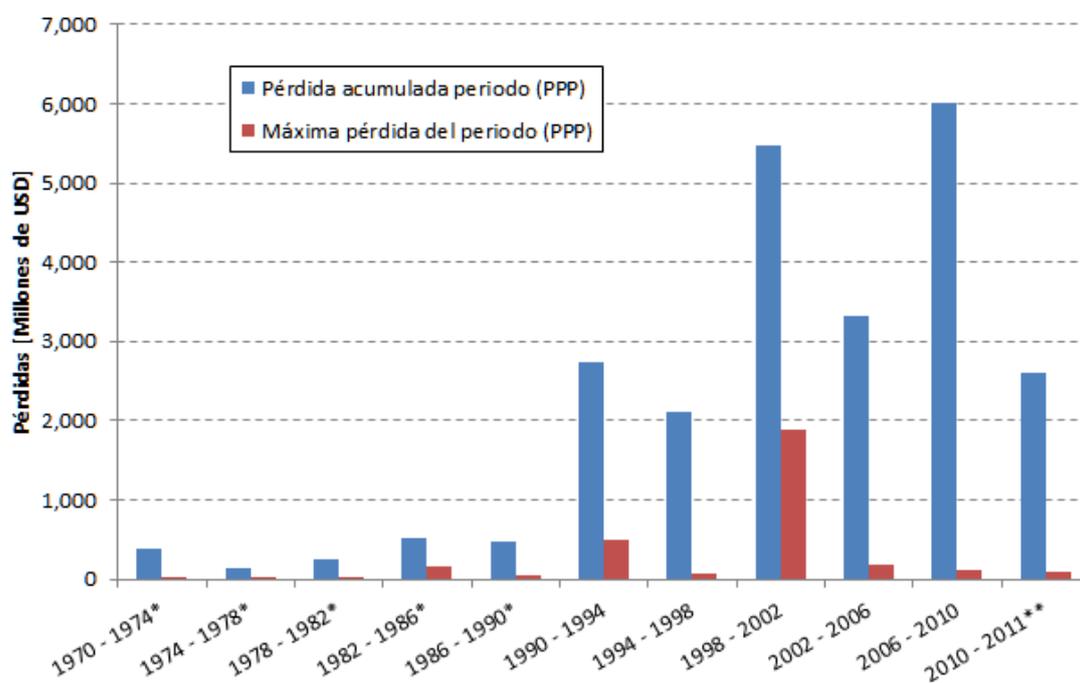


Figura 3-10 Pérdidas económicas por rango de tiempo para todas las categorías.

* No se dispone de información para realizar la corrección

** Periodo de diferente duración debido a la carencia de registros

Finalmente, ya que los resultados obtenidos representan pérdidas económicas, es posible realizar un análisis de la frecuencia con la cual diferentes niveles de pérdida económica son excedidos para cada una de las categorías de eventos o para la totalidad de los eventos. Este análisis permite obtener la curva retrospectiva de excedencia de pérdidas, en la cual es posible observar la frecuencia promedio anual con la cual, los diferentes niveles de pérdidas económicas han ocurrido o se han visto sobrepasados.

La Figura 3-11 presenta una curva típica de excedencia de pérdidas. Esta curva, como ya se explicó en el numeral 2.3.1, relaciona en el eje horizontal el nivel de pérdida económica y en el eje vertical izquierdo su correspondiente tasa anual de excedencia, es decir el número de veces que en promedio cada valor de pérdida se iguala o se excede. El inverso de la tasa anual de excedencia corresponde al periodo de retorno promedio en años; valor que se indica en el eje vertical de la derecha.

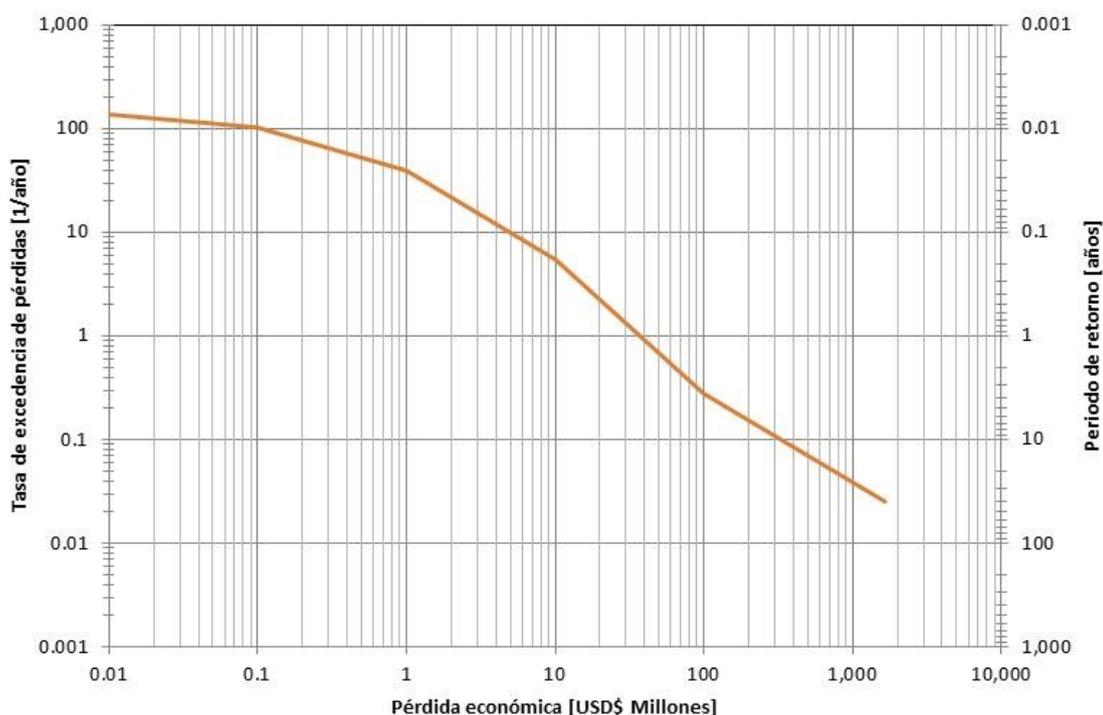


Figura 3-11 Recurrencia de pérdidas económicas por categoría y para el total.

Esta curva es de especial importancia para los gobiernos centrales, ministerios de economía, y organismos plurinacionales, dado que representa el riesgo físico en forma retrospectiva durante el período de tiempo cubierto por el análisis. Los gobiernos usualmente no han estimado esta curva que da cuenta del riesgo que se deriva de los desastres menores.

Todos estos resultados, permiten presentar en gran detalle la compleja problemática, que los desastres y en especial los desastres menores, tienen sobre la comunidad y la sostenibilidad fiscal de los países. También permiten a la población y a las instituciones entender las consecuencias que los desastres por fenómenos naturales pueden tener, si no se comienzan a aplicar políticas de manejo y gestión del riesgo de desastres.

Por otra parte, en conjunto con la curva de excedencia de pérdidas, obtenida de un modelo analítico y prospectivo del riesgo catastrófico, se puede construir,

como se verá más adelante, el que podría ser el perfil de riesgo extensivo e intensivo de cada país, expresado en la curva híbrida de excedencia de pérdidas.

3.1.6 Comentarios

No todos los registros de la base de datos utilizada contienen el total de los efectos causados por los diferentes eventos que han causado desastres, esto puede ocurrir porque no hay acceso al total de la población y áreas afectadas, o porque el organismo evaluador se concentra en un determinado número de variables. Esto quiere decir que se pueden presentar casos en los cuales se puede considerar que hay registros incompletos (e.g. registros con efectos importantes sobre la población pero ninguno sobre viviendas, infraestructuras o servicios). Para la aplicación de la metodología propuesta, se considera que la información presente en la base de datos es la mejor representación disponible de las diferentes consecuencias causadas, por esto no se plantea una revisión detallada, ni el uso de correlaciones para modificar la información original.

La agrupación espacial, no considera la distancia que separa las poblaciones donde se registra la afectación de los eventos, dado que no se cuenta con una ubicación espacial precisa. Una mejora que podría plantearse a la metodología propuesta, es la de incluir una tabla con las coordenadas de un punto central para cada población y mediante el cálculo de la distancia entre poblaciones, considerar si registros que parecen relacionados deben agruparse o no. Se podría considerar incluso diferentes rangos de agrupación según la amenaza.

3.2 Evaluación prospectiva de riesgo

3.2.1 Introducción

En general se puede reconocer, con algunas excepciones, que existe limitada información histórica acerca de los eventos catastróficos que han ocurrido y, peor aún, de los que pueden ocurrir en una región. Por esta razón, no es posible pronosticar las futuras consecuencias que serán causadas por eventos extremos en base a la información histórica disponible de efectos ocurridos. En otras palabras, una base de datos con los efectos de los desastres no es suficiente para capturar el posible impacto futuro de desastres de baja frecuencia y altas consecuencias, debido a que la ventana de tiempo cubierta por los desastres ocurridos es relativamente muy corta.

Considerando la posibilidad de que eventos futuros altamente destructivos pueden presentarse en cualquier momento, la estimación del riesgo debe abordarse mediante la utilización de modelos analíticos probabilistas. La

evaluación del riesgo por eventos extremos debe seguir un enfoque prospectivo, anticipando eventos de ocurrencia y consecuencias científicamente factibles que puedan presentarse en el futuro, y considerando además las grandes incertidumbres asociadas a la estimación de su severidad y frecuencia de ocurrencia.

De acuerdo con lo anterior, para la modelación del riesgo catastrófico es necesario representar los componentes del riesgo: la amenaza, los elementos expuestos, y la vulnerabilidad, de tal manera que se puedan agregar en forma consistente mediante un procedimiento apropiado y robusto, en términos no sólo conceptuales sino analíticos. La evaluación probabilista del riesgo es una de las técnicas del estado del arte que permite no solamente hacer este tipo de “aritmética” o convolución sino, también, hacerlo de manera que se pueda involucrar en forma adecuada la incertidumbre asociada al cálculo de la amenaza y la caracterización de la vulnerabilidad. La evaluación prospectiva y probabilista del riesgo catastrófico requiere del uso de herramientas especializadas, que además de basarse en literatura científica y modelos de amenazas ampliamente aceptados, integre en cada paso del proceso las diferentes incertidumbres asociadas. Es por esto que se decidió hacer uso de la plataforma CAPRA¹ (CIMNE et al. 2010). El principal resultado de este análisis es la curva analítica de excedencia de pérdidas, que representa la frecuencia anual con que una determinada pérdida económica puede ser excedida en el futuro.

3.2.2 Modelo de exposición propuesto

Para el cálculo del riesgo catastrófico a nivel país es necesario desarrollar un modelo del inventario de elementos expuestos (exposición) que incluya los principales elementos (activos, propiedades) ubicados en las áreas propensas a ser impactadas por la ocurrencia de eventos naturales, elementos que son susceptibles de sufrir daños si dichos eventos se presentan. Para la caracterización de la exposición es necesario identificar los diferentes elementos presentes, definir su ubicación geográfica, su valoración económica y sus características físicas e ingenieriles principales (con el fin de asignarle una función de daño o de vulnerabilidad física ante el evento peligroso). A nivel de una ciudad, las características de los elementos expuestos se determinan

¹ Plataforma financiada por el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Centro de Coordinación para la prevención de los Desastres (CEPREDENAC) y la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres de las Naciones Unidas (UN-EIRD)

usualmente a partir de fuentes de información secundaria como bases de datos de catastro existentes, o pueden ser derivadas a través de procedimientos simplificados basados en información social y macroeconómica general, como densidad poblacional, estadísticas de construcción, etc. Los modelos simplificados de exposición se utilizan cuando la información requerida no se encuentra disponible.

El modelo propuesto consta, en general de los siguientes pasos:

a) Estimación de la población.

El principal insumo para el modelo propuesto es la población. Ya que toda persona necesita un lugar donde residir, y trabajar o estudiar, es posible establecer una relación directa entre población y el área construida. También es posible definir relaciones entre el costo de vida, costo de las edificaciones, cantidad de infraestructura en base a la proporción de población. En general, es de esperarse que los centros urbanos más poblados ofrezcan un mayor número de oportunidades laborales y atraigan una mayor cantidad de población, lo cual incrementa de manera importante la demanda de vivienda, por lo que su valor expuesto también se incrementa.

b) Localización espacial de centros poblados.

De manera que se permita la superposición de la exposición con la amenaza.

c) Definición de niveles de complejidad

Considerando que las ciudades más pobladas, en general tienen una mayor densidad poblacional y que los costos de vida son mayores; los niveles de complejidad permiten establecer porcentajes de edificios (en lugar de casas), de infraestructura (e.g. vial, educativa y sanitaria) y de sistemas constructivos o estructurales. También permiten definir un mayor costo a las edificaciones y a la infraestructura en dichas ciudades.

d) Estimación de área construida residencial

Con base en estadísticas económicas de distribución de empleo, ingresos, y población en y bajo la línea de pobreza es posible definir varios grupos de población en función de los ingresos. Cada grupo de población implica diferente área disponible por habitante, diferentes metodologías constructivas y diferentes costos de vivienda.

$$A_{Res} = Pob_{Ciudad} * \rho_{Res} * FGrupo * FComp_{res} \quad (3-1)$$

Dónde:

A_{Res} , es el área [m²] residencial para la ciudad evaluada del grupo de población considerado; Pob_{Ciudad} , es la población [habitantes] de la ciudad; ρ_{Res} , es la densidad de construcción residencial [m²/habitante]; $FGrupo$, es el grupo de población [%]; y $FComp_{res}$, es el factor de complejidad para el sector residencial.

e) Estimación de área construida comercial.

Esta estimación se base en estadísticas laborales en el área de servicios.

$$A_{Com} = Pob_{Ciudad} * FCom * \rho_{Com} * FComp_{com} \quad (3-2)$$

Dónde:

A_{Com} , es el área [m²] comercial para la ciudad evaluada; Pob_{Ciudad} , es la población [habitantes] de la ciudad; ρ_{Com} , es la densidad de construcción comercial [m²/trabajador]; $FCom$, es el porcentaje de la población que trabaja en el sector de servicios; y $FComp_{comercial}$, es el factor de complejidad para el sector comercial.

f) Estimación de área construida industrial.

Para esta estimación se utilizan estadísticas de población empleada en los diferentes segmentos industriales.

$$A_{Ind} = Pob_{Ciudad} * FInd * \rho_{Ind} * FComp_{ind} \quad (3-3)$$

Dónde:

A_{Ind} , es el área [m²] industrial para la ciudad evaluada; Pob_{Ciudad} , es la población [habitantes] de la ciudad; ρ_{Res} , es la densidad de construcción industrial [m²/trabajador]; $FInd$, es el porcentaje de la población que trabaja en la industria manufacturera; y $FComp_{res}$, es el factor de complejidad para el sector industrial.

g) Estimación de área construida para la educación.

Para esta estimación se emplea el número de estudiantes, o de población en edad escolar. Y si está disponible el porcentaje de instituciones/alumnos en el sector público y privado, en caso contrario se asume en función del nivel de complejidad.

$$A_{Ed_pub} = Est_{Ciudad} * F_{Ed_Pub} * \rho_{Escolar} * F_{Comp_esc} \quad (3-4)$$

$$A_{Ed_priv} = Est_{Ciudad} * F_{Ed_Priv} * \rho_{Escolar} * F_{Comp_esc} \quad (3-5)$$

Dónde:

A_{Ed_pub} , es el área [m²] de establecimientos de educación pública para la ciudad evaluada; Est_{Ciudad} , es la población en edad escolar [estudiantes] de la ciudad; $\rho_{Escolar}$, es la densidad de construcción escolar [m²/estudiante]; F_{Ed_Pub} , es el porcentaje de la población que estudia en la escuela pública; y F_{Comp_esc} , es el factor de complejidad para el sector de la educación. Complementariamente, A_{Ed_priv} , es el área [m²] de establecimientos de educación privada para la ciudad evaluada; y F_{Ed_Priv} , es el porcentaje de la población que estudia en escuelas privadas ($F_{Ed_Priv} = 1 - F_{Ed_Pub}$)

h) Estimación de área construida en el sector salud.

Dado que en general no se cuenta con el área disponible de hospitales y centros de salud, se hace uso del indicador del número de camas hospitalarias disponibles. A cada una de estas camas se le asignara un área construida en base a información de casos donde se tenga la relación.

$$A_{Salud_pub} = NCamas_{Ciudad} * F_{Sal_Pub} * \rho_{hosp} * F_{Comp_salud} \quad (3-6)$$

$$A_{Salud_priv} = NCamas_{Ciudad} * F_{Sal_Priv} * \rho_{hosp} * F_{Comp_salud} \quad (3-7)$$

Dónde:

A_{Salud_pub} , es el área [m²] de hospitales y centros de salud públicos para la ciudad evaluada; $NCamas_{Ciudad}$, es el número de camas hospitalarias [camas] de la ciudad; ρ_{hosp} , es la densidad de construcción hospitalaria por cama [m²/cama]; F_{Sal_Pub} , es el porcentaje de las camas hospitalarias pertenecientes a la red pública; y F_{Comp_salud} , es el factor de complejidad para el sector salud. Complementariamente, A_{Salud_priv} , es el

área [m²] de hospitales y centros de salud privados para la ciudad evaluada; y F_{Sal_Priv} , es el porcentaje de las camas hospitalarias pertenecientes a la red privada ($F_{Sal_Priv} = 1 - F_{Sal_Pub}$)

i) Estimación de área construida administrativa gubernamental.

Para esta estimación se hace uso del número de empleados públicos y se asume una densidad ocupacional.

$$A_{Gob} = Pob_{Ciudad} * FGob * \rho_{Gob} * FComp_{gob} \quad (3-8)$$

Dónde:

A_{Gob} , es el área [m²] de edificaciones públicas administrativas para la ciudad evaluada; Pob_{Ciudad} , es la población [habitantes] de la ciudad; ρ_{Gob} , es la densidad de área administrativa por empleado público [m²/empleado]; $FGob$, es el porcentaje de la población que trabaja en el sector gubernamental; y $FComp_{gob}$, es el factor de complejidad para el sector gubernamental.

j) Definición de los sistemas constructivos más representativos.

Con base en información del censo de viviendas, información estadística de nuevas construcciones y uso de materiales, es posible definir características base que permitan una identificación del sistema estructural de las edificaciones. Se requiere el acompañamiento de un experto local que conozca los cambios establecidos por el uso de diferentes versiones de normas constructivas y urbanísticas, así como la cronología histórica de las tendencias y tecnologías empleadas en el sector.

k) Valoración del área construida.

Para la valoración del metro cuadrado de área construida se tiene el mismo inconveniente que en la valoración retrospectiva. Es decir, no se dispone de un indicador para cada país que indique un valor medio. Por lo anterior, se tomará como base la valoración obtenida para el análisis retrospectivo del riesgo (Numeral 3.1.3). Dicha valoración se tomará como equivalente para construcciones residenciales pertenecientes al grupo de ingresos más bajo definido, los demás sectores y niveles de complejidad se obtendrán al multiplicar dicho valor por un factor.

3.2.3 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad de los componentes expuestos, es decir la susceptibilidad de cada uno de ellos a sufrir daño ante un evento peligroso, se representa mediante funciones de daño o pérdida. Estas funciones relacionan la intensidad del fenómeno con el nivel de daño o afectación física directa de cada componente, expresada como porcentaje de daño físico o pérdida económica relativa. Cada función de vulnerabilidad está definida por un valor medio de daño y su varianza, con lo cual es posible estimar su función de probabilidad respectiva. La varianza da cuenta de la incertidumbre asociada en este proceso del cálculo de riesgo catastrófico. En esta tesis, la vulnerabilidad de los diferentes componentes expuestos ha sido obtenida del estudio GAR15 (UNISDR 2015).

3.2.4 Metodología

La metodología para el cálculo prospectivo y probabilista del riesgo se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Construcción del modelo de amenaza. Se debe construir un modelo que contenga de manera exclusiva (i.e. sin eventos duplicados) todas las posibles manifestaciones del fenómeno estudiado, las cuales deben caracterizarse por una frecuencia anual de ocurrencia, un mapa de distribución de la intensidad media del evento o escenario junto con su respectiva incertidumbre (e.g. desviación estándar).
2. Preparación de una base de datos geo-referenciada de elementos expuestos. Se debe obtener o generar mediante una metodología aproximada el conjunto de elementos en riesgo, de manera que al sobreponer los diferentes escenarios que conforman la amenaza sea posible la evaluación económica de los efectos esperados que los eventos tendrán sobre dichos elementos, y en general sobre el contexto económico nacional.
3. Asignación de curvas de vulnerabilidad para las diferentes clasificaciones generales de edificaciones consideradas en la base de datos anterior. Las funciones de vulnerabilidad permiten relacionar el daño esperado en los diferentes conjuntos de elementos en base a la demanda de capacidad que el fenómeno natural produce sobre dichos elementos. Estas funciones pueden obtenerse de la literatura existente (e.g. HAZUS, Risk UE, GAR), establecerse mediante mediciones de laboratorio, correlaciones empíricas, o modelos computacionales (Lagomarsino & Giovinazzi 2006; Lantada et al. 2009a, 2009b; Vargas et al. 2013a, 2013b, 2013c).

4. Estimación del riesgo de desastres. Empleando la plataforma CAPRA, se combina la información de la exposición y su vulnerabilidad con los diferentes escenarios que conforman la amenaza. Finalmente, al procesar de manera probabilista los resultados obtenidos para cada elemento y cada escenario es posible obtener la curva de excedencia de pérdidas (LEC) junto con otras métricas del riesgo.

3.2.5 Resultados esperados

Los resultados del análisis probabilista del riesgo pueden ser obtenidos para diferentes sectores, según el portafolio de elementos en riesgo analizado. Considerando que el objetivo final de esta tesis es la conformación de una curva híbrida de riesgo que integre los resultados de los análisis retrospectivo y prospectivo del riesgo, el análisis prospectivo debe evaluar los efectos o pérdidas como consecuencia de los eventos mayores o extremos sobre los mismos tipos de inmuebles (o similares), por lo que en ese caso, los inmuebles de interés comprenden:

- Construcciones residenciales de la población de bajos ingresos.
- Edificaciones de educación pública.
- Edificaciones públicas para la prestación de los servicios de salud.
- Edificaciones gubernamentales administrativas.

Del análisis prospectivo del riesgo es posible obtener la pérdida anual promedio (AAL) y la pérdida máxima probable (PML), para el total de elementos considerados en el área de estudio. Los valores de pérdidas dependen del grado de dispersión de los inmuebles evaluados, es decir, que estos son significativos para la totalidad de los elementos expuestos, y que cuando evaluaciones posteriores sobre subconjuntos de estos elementos se realicen, los valores variaran en función del número de elementos y la concentración de riesgo de los mismos.

Las métricas de riesgo corresponderán a las pérdidas económicas que el gobierno deberá afrontar en caso de la ocurrencia de eventos extremos (e.g. sismos, huracanes); los cuales, debido a su magnitud, pueden causar consecuencias catastróficas debido a la simultaneidad de sus efectos sobre el portafolio de elementos expuestos. Bajo las consideraciones de este trabajo, son responsabilidad fiscal del Estado: las pérdidas causadas sobre los elementos públicos de asistencia social, las edificaciones público-administrativas y las viviendas de los grupos de población de más bajos ingresos.

La Figura 3-12 presenta una curva de excedencia de pérdidas que puede obtenerse del análisis prospectivo del riesgo, en esta curva es posible observar la frecuencia anual media (eje vertical izquierdo) con la que eventos catastróficos que producen una determinada pérdida económica (eje horizontal) se espera que ocurran o sean sobrepasados en el futuro. Lo anterior considerando el conocimiento actual de la amenaza, los elementos en riesgo existentes y las condiciones de vulnerabilidad presentes al momento de la evaluación. Dado que el periodo promedio de retorno es el inverso de la frecuencia, la curva anterior también puede ser expresada en función del periodo de retorno (eje vertical derecho).

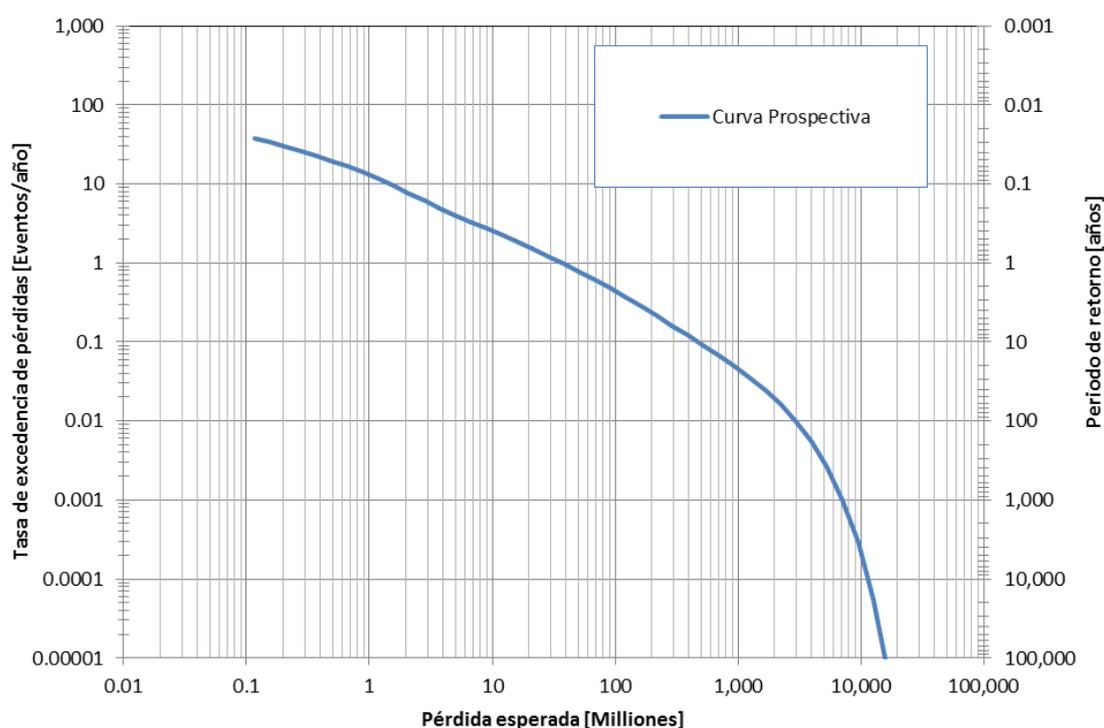


Figura 3-12 Curva de excedencia de pérdidas obtenida de la evaluación prospectiva.

En la Figura 3-12 es posible observar que eventos con alta frecuencia anual de ocurrencia no son adecuadamente representados, es decir, no se cuenta con información suficiente para amenazas con más de 10 ocurrencias al año e incluso en dicho caso se puede considerar que la frecuencia obtenida, subestima la amenaza. La información faltante de la curva de excedencia de pérdidas, se debe a que la metodología prospectiva solo evalúa eventos catastróficos, ignorando los eventos menores cotidianos.

Es importante considerar que la evaluación de los efectos producidos por los pequeños eventos requiere un mayor volumen de información, ya que por su reducido tamaño e impacto es necesario realizar evaluaciones detalladas en las

cuales diferencias menores en la información de entrada pueden producir cambios importantes en los resultados. Por ejemplo, considérese el caso de una inundación, donde es posible que una diferencia de 10 cm en el nivel del terreno indique cual rivera se inunda en caso de lluvias prolongadas y extraordinarias. Teniendo en cuenta el nivel de detalle requerido y que actualmente los modelos de elevación digital públicamente accesibles tienen una resolución espacial (distancia entre las medidas de elevación) de 30 metros, se hace necesario que para un adecuado análisis del riesgo en una cuenca se deban llevar a cabo un número importante de estudios que caractericen con detalle el área de estudio.

3.3 Evaluación híbrida de riesgo

Usualmente la LEC se calcula de manera prospectiva para eventos catastróficos, los cuales tienen el potencial de generar, enormes pérdidas económicas aunque con una baja probabilidad de ocurrencia. En una curva LEC es posible observar con qué frecuencia una pérdida económica, puede en promedio verse alcanzada o superada (bajo las condiciones de exposición y vulnerabilidad consideradas, presentes al momento de elaboración de la LEC). Ahora bien, la parte izquierda de la curva, correspondería a eventos frecuentes pero con un impacto limitado, dicho segmento no se modela ya que se trata de los pequeños desastres, los cuales en cada ocurrencia afectan áreas específicas y reducidas. Actualmente no es factible generar un modelo regional con decenas, cientos o miles de estas áreas, esto debido a los requerimientos de información local precisa y computo que exceden por mucho las capacidades actuales. Los resultados para cada una de esas áreas son altamente sensibles a la información de entrada (i.e., pequeñas o mínimas pueden ser la diferencia entre un riesgo muy bajo y un riesgo muy alto).

Es por esto que se propone el empleo de información histórica de desastres pasados para llenar el vacío existente y disponer de una visión más amplia e integral del riesgo. Se espera entonces que mediante la metodología propuesta se pueda obtener el primer fragmento de la curva, el de desastres de bajo impacto económico pero de gran recurrencia anual, como se muestra en la Figura 3-13.

En las secciones previas, dos curvas LEC fueron obtenidas mediante diferentes enfoques. El primero de estos corresponde al análisis retrospectivo, el cual considera las pérdidas económicas menores pero frecuentes; el segundo, corresponde al análisis prospectivo, mediante el cual es posible obtener las pérdidas económicas relacionadas a eventos con una muy baja frecuencia anual de ocurrencia. Una vez se tengan las curvas de excedencia correspondientes, se

pretende combinarlas en una nueva curva de excedencia de pérdidas híbrida, o HLEC por sus siglas en inglés.

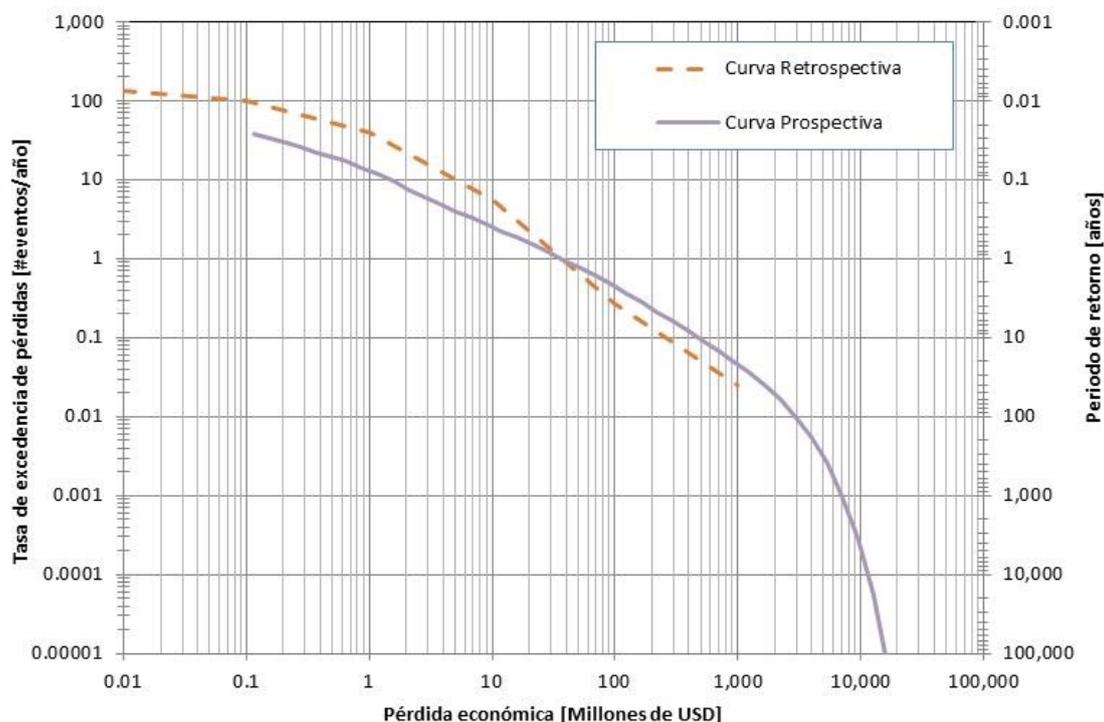


Figura 3-13 Curvas de excedencia de pérdidas

Se puede observar en la curva empírica de la Figura 3-13, como su extremo derecho cae por debajo de la curva analítica, lo cual se puede explicar por el corto periodo de tiempo de eventos registrados (en la mayoría de los casos no más de 40 o 50 años de registros continuos y confiables), es de esperar que a medida que se aumente el número de eventos en las bases de datos, esta zona se aproxime cada vez más a la curva analítica.

Otro caso que se puede presentar, es cuando la curva empírica sobresale de la curva analítica, cómo se observa en la Figura 3-14, y se debe a eventos catastróficos que han ocurrido durante el periodo de observación, y por tanto no manifiestan su verdadera frecuencia.

Usando las curvas obtenidas mediante el empleo de las metodologías retrospectiva y prospectiva, es posible la elaboración de una nueva curva para la representación del riesgo, la curva híbrida de excedencia de pérdidas, o HLEC por sus siglas en inglés (Hybrid LEC). La HLEC es construida al sobreponer las LEC base e interpolar sobre el segmento común, como se muestra en la Figura 3-15.

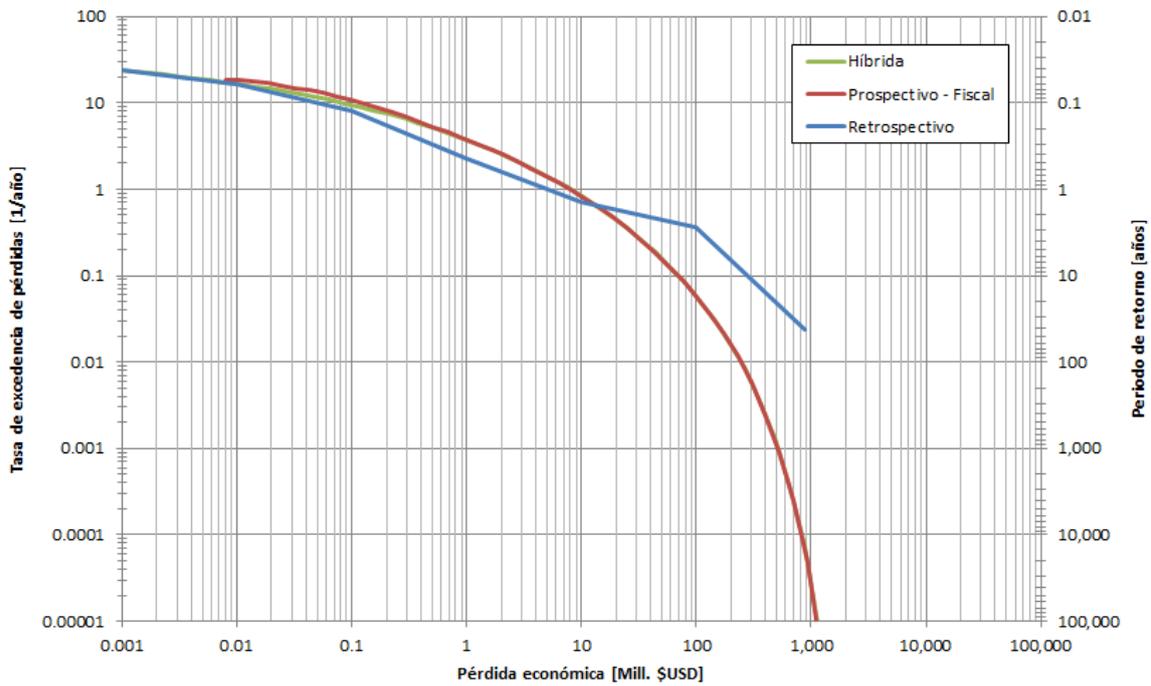


Figura 3-14 Curvas de excedencia de pérdidas

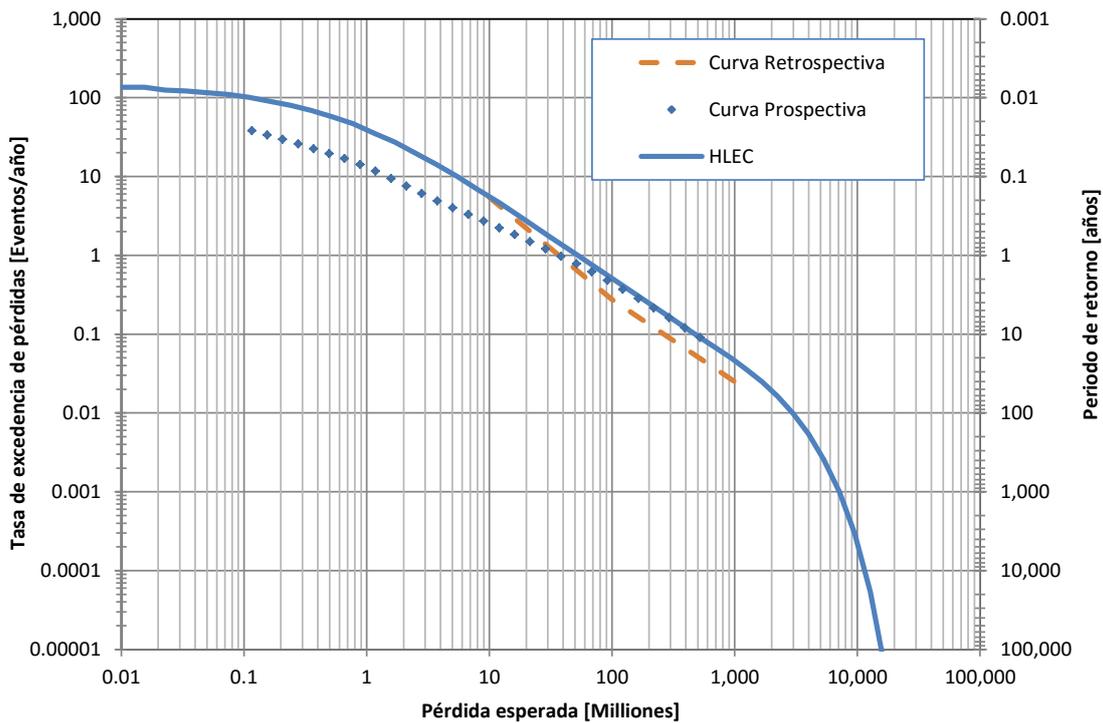


Figura 3-15 Curva Híbrida de excedencia de pérdidas

De esta forma el primer segmento de la nueva curva de excedencia corresponde al valor de las pérdidas menores y moderadas obtenidas del análisis empírico o retrospectivo, y el segundo segmento corresponde al análisis prospectivo probabilista, donde se obtiene el potencial de pérdidas mayores y extremas. En

otras palabras, la técnica propuesta para el análisis del riesgo se fundamenta en empalmar un segmento de la curva LEC obtenida para todo el conjunto de eventos “menores” históricos causados por amenazas naturales, con un segmento de la curva obtenida sólo para las amenazas que tienen el potencial de generar eventos catastróficos.

Al evaluar la integral de la función que representa la curva híbrida, es posible obtener la pérdida anual esperada (o AAL), para el conjunto de análisis realizados, es decir es posible observar el efecto que los desastres menores y mayores tienen en promedio cada año en el país de estudio. La AAL como se presenta en este trabajo es conocida como la prima pura de riesgo, es decir la esperanza matemática anual de la pérdida. La AAL es el costo anual esperado que los desastres tendrán sobre la comunidad, dicho valor no considera costos adicionales pero relacionados como la atención del desastre, la recuperación posterior ni el manejo financiero de los fondos contingentes de reserva.

El valor que se paga anualmente como prima de riesgo, varía en función del rango de cobertura deseado, es decir los límites inferior y superior entre los cuales el seguro contratado comienza y termina. Estos límites son de especial importancia, ya que un límite inferior muy bajo o nulo, incrementa el valor anual de la póliza, al mismo tiempo que desincentiva cualquier acción por parte del asegurado de reducir su riesgo (ya que se encuentra cubierto). El límite superior depende del monto de las pérdidas esperadas, de la capacidad financiera del asegurador y de los costos financieros de los mecanismos de reservas (e.g. fondos de reserva, créditos contingentes, bonos de catástrofe).

En una situación normal, el costo anual de las pérdidas causadas por los desastres menores y frecuentes estaría por debajo del límite inferior de cualquier póliza de seguro que un estado contrataría, sin embargo, la magnitud y la frecuencia de las mismas pueden comprometer su solvencia financiera. La HLEC permite observar el impacto antes ignorado de los desastres menores, permitiendo una planificación para atender sus efectos.

CASO DE ESTUDIO: COLOMBIA

4.1 Información general

Debido a su ubicación, Colombia se encuentra bajo la amenaza de diversos fenómenos naturales. Entre los diferentes fenómenos presentes se pueden resaltar los deslizamientos, los cuales debido a la topografía abrupta causada por las tres diferentes cadenas de montañas en las cuales la cordillera de los Andes diverge, son una amenaza siempre presente. En cuanto a con los fenómenos hidrometeorológicos (y en especial las inundaciones), las corrientes oceánicas del Atlántico y del Pacífico hacen de Colombia el país con el mayor promedio de precipitación del mundo (World Bank Group, n.d.). Finalmente, el país está expuesto a fenómenos tectónicos, los cuales además de sus efectos directos potencialmente notables (e.g. Sismo de Quindío del 25 de enero 1999), pueden agravar o ser el detonante de otros eventos que pueden causar desastres (e.g. deslizamientos, cambios en el cauce de ríos, etc.).

El anterior panorama es de especial interés, ya que cerca del 80% de la población (DANE 2014) habita sobre las diferentes cadenas montañosas, lo cual hace que dicha población sea especialmente susceptible a la ocurrencia de cualquiera de los anteriores eventos.

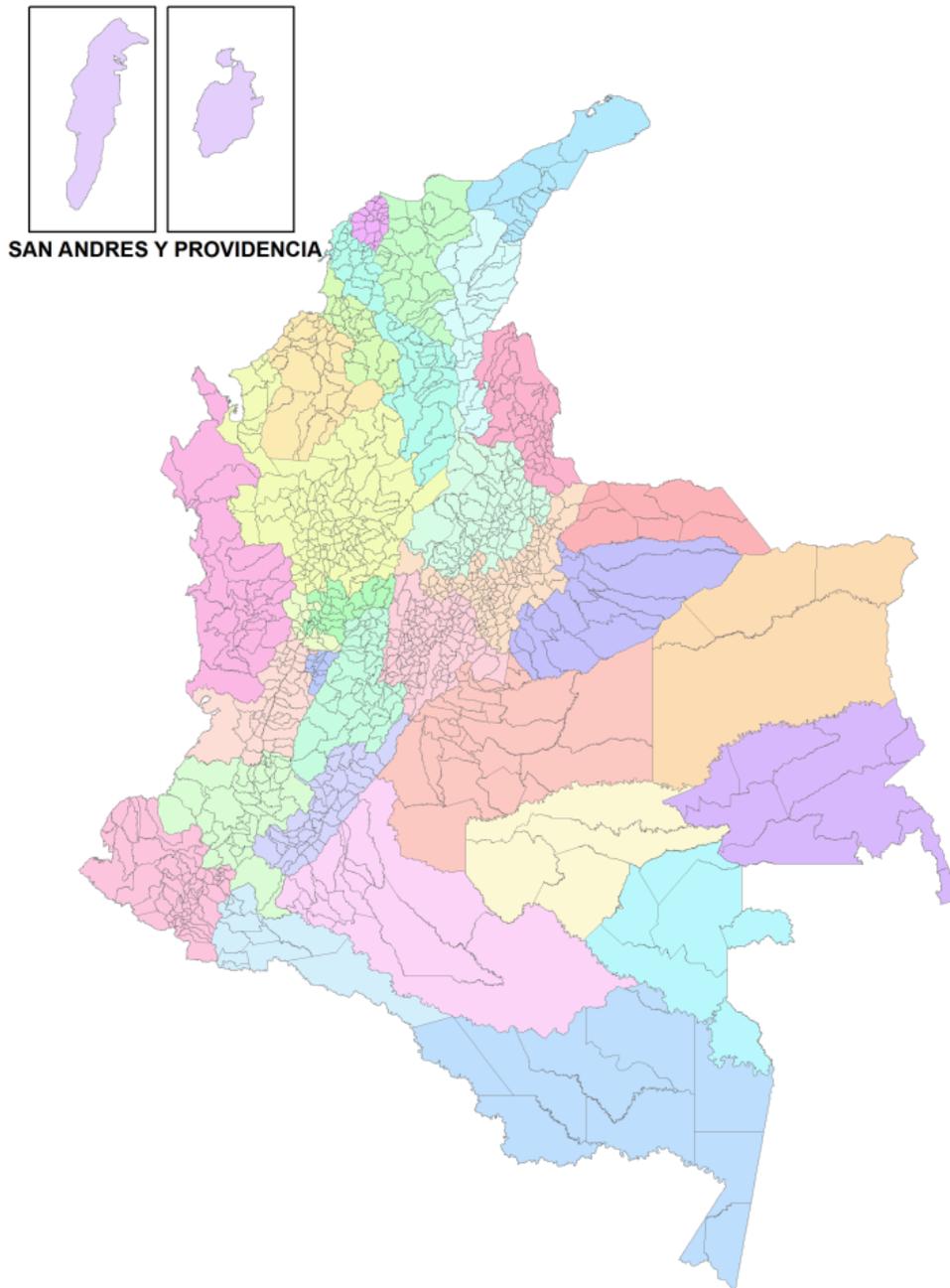


Figura 4-1 Municipios de Colombia.

Fuente: IGAC (n.d.)

La unidad de división política básica de Colombia son los municipios (Figura 4-1), los cuales conforman una extensión territorial que puede abarcar una o más poblaciones; por lo general, los municipios comparten el mismo nombre que la cabecera (o capital) municipal. Para esta tesis se adoptan los municipios empleados en la más reciente serie de población del DANE (del 12 de mayo de 2011), la cual incluye 1,122 municipios y omite a San José de Uré (Municipio segregado de Montelíbano, Córdoba) a la espera de un fallo jurídico definitivo.



Figura 4-2 Departamentos de Colombia.

Fuente: IGAC (n.d.)

Después del orden nacional, los departamentos (Figura 4-2) conforman el siguiente nivel político administrativo de Colombia. Cada departamento agrupa un número distinto de municipios (Tabla 4-1), conformando regiones geográficas y culturales. Adicionalmente, a las anteriores entidades se une el

distrito capital de Bogotá, el cual posee el área metropolitana más poblada del país con una población superior a los 7 millones de habitantes.

Tabla 4-1 Número de municipios por departamento

Departamento	Número de Municipios
Amazonas	11
Antioquia	125
Arauca	7
Archipiélago de San Andrés	2
Atlántico	23
Bogotá, D.C.	1
Bolívar	46
Boyacá	123
Caldas	27
Caquetá	16
Casanare	19
Cauca	42
Cesar	25
Chocó	30
Córdoba	30
Cundinamarca	116
Guainía	9
Guaviare	4
Huila	37
La Guajira	15
Magdalena	30
Meta	29
Nariño	64
Norte de Santander	40
Putumayo	13
Quindio	12
Risaralda	14
Santander	87
Sucre	26
Tolima	47
Valle del Cauca	42
Vaupés	6
Vichada	4
Total	1,122

4.2 Desastres históricos

Dada la localización del país en la convergencia de diferentes placas tectónicas, las cuales debido a su desplazamiento permanente, manipulan el paisaje e inducen actividad en las diferentes fallas intraplaca existentes. Por otro lado, la influencia de las corrientes oceánicas dejan un elevado volumen de precipitación sobre el territorio, a lo que se suma la ocurrencia periódica del fenómeno ENOS. La Tabla 4-2 presenta los desastres más grandes ocurridos en

Colombia que han sido debidos a fenómenos naturales como los mencionados anteriormente.

Tabla 4-2 Principales desastres de Colombia, 1979-2004.

Desastre	Evento	Daños estimados [Millones de USD]
Popayán (1983)	Terremoto	377.8
Armero (1985)	Erupción Volcán Nevado del Ruiz	246.0
Murindo (1992)	Terremotos	45.2
Tierradentro (1994)	Terremoto	150.1
Quindío (1999)	Terremoto	1,590.8

Fuente: ERN-Colombia 2004, CEPAL 2007

La tabla anterior sólo muestra el impacto que han tenido los desastres mayores en el país, pero no incluye la evaluación del impacto de la ocurrencia recurrente que tienen los desastres menores, los cuales se ven agravados en periodos de actividad del fenómeno ENOS. El costo estimado del impacto causado por el fenómeno ENOS ocurrido entre 1997 y 1998, es de 563.5 millones de dólares (CAF 2000). El fenómeno ENOS ocurrido entre 2010 y 2011, causo daños estimados en 6,052 millones de dólares (CEPAL 2012), de los cuales, la infraestructura vial absorbió el 29% del total, con daños debidos a deslizamientos e inundaciones en la gran mayoría de departamentos.

4.3 Evaluación retrospectiva del riesgo

La evaluación retrospectiva del riesgo permite considerar el impacto que los pequeños desastres han tenido sobre las comunidades. Impacto que normalmente ha sido ignorado, debido al aparente bajo costo causado en cada desastre, pero que visto de forma acumulada, cobra importancia debido a la magnitud de los recursos que hubiesen sido requeridos para recuperar el estado anterior. Un caso, aunque extremo, que permite considerar la magnitud de las pérdidas y daños causados por el impacto acumulado de los pequeños desastres son las evaluaciones de costos realizadas para las manifestaciones del fenómeno ENOS realizadas por la CAF (2000) y la CEPAL (2012).

A continuación se presenta la aplicación de la metodología propuesta en el numeral 3.1, la cual se puede resumir en los siguientes pasos:

- Selección de la base de datos de desastres
- Estimación de los valores base del modelo de pérdidas económicas
- Procesamiento de la base de datos de desastres seleccionada:
 - o Selección del periodo de análisis de los eventos reportados en la base de datos.

- Clasificación en categorías de las diferentes causas empleadas en la base de datos.
- Definición de los parámetros de agrupación de registros a Eventos.
- Agrupación de registros en eventos
- Valoración económica del impacto
- Análisis de los resultados.

4.3.1 Bases de datos de Desastres

Fue posible obtener información de desastres ocurridos en Colombia de dos diferentes bases de datos de desastres, EM-DAT (CRED) y DesInventar (UN-ISDR). Ambas bases de desastres como se explicó en el numeral 3.1, se diferencian en su definición de desastre y en las variables almacenadas con cada reporte. Considerando lo anterior y el planteamiento propuesto, se ha seleccionado la base de desastres DesInventar. La Tabla 4-3 muestra la comparación en el número de registros disponibles en las bases de datos consideradas.

Tabla 4-3 Comparación de las bases de datos de desastres por número de registros y periodo

Base de datos	Periodo	Número de registros
DesInventar	1914-2011	33,301
EM-DAT	1906-2011	230

En la tabla anterior se limitó el periodo de análisis al último año completo de registros de ambas bases de datos, lo que en el momento de generar este documento fue el año 2011. Si bien EM-DAT cuenta con registros para 2012 (7 registros), 2013 (3 registros) y 2014 (9 registros), DesInventar sólo incluye registros hasta marzo de 2012 (24 registros).

La Figura 4-3, presenta el número de registros disponibles en la base de datos DesInventar por año y de manera acumulada. En dicha figura es posible observar el cambio de pendiente ocurrido en 1970 y la continuidad en la tendencia de la línea posterior, lo cual indica una regularidad en el número de registros disponibles a partir de ese año.

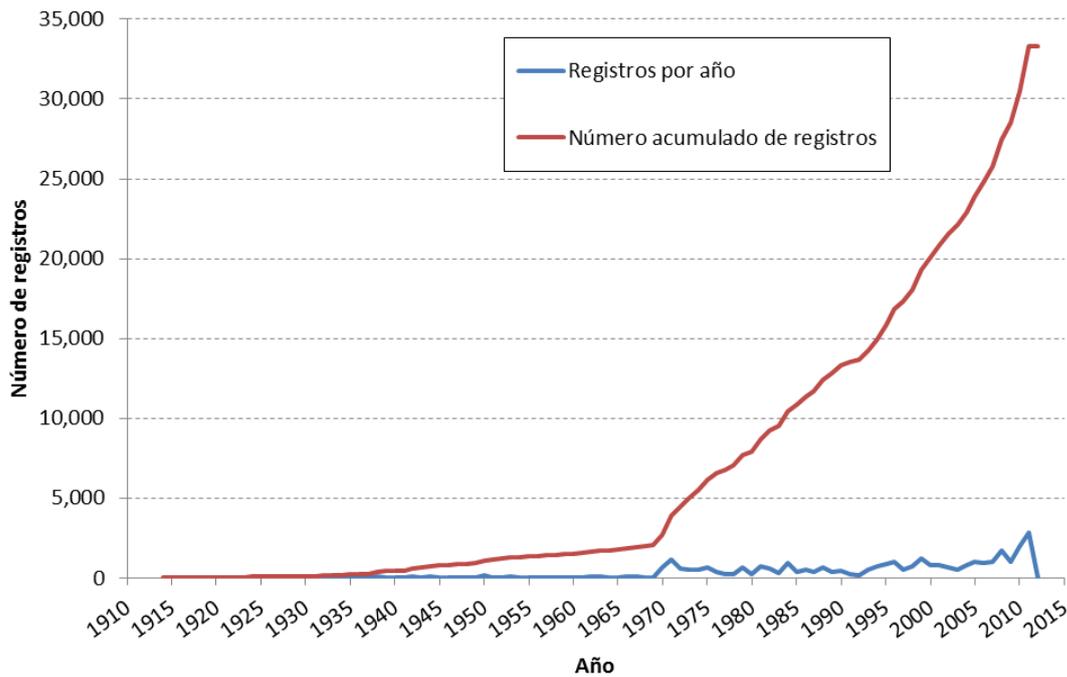


Figura 4-3 Número de registros DesInventar por año y acumulados

4.3.2 Modelo de costos

La valoración de los efectos de los diferentes eventos que han causado desastres en Colombia se obtuvo utilizando el valor de reemplazo de cada tipo de elemento dañado por uno que cumpla una función equivalente. Es decir, en el caso de construcciones destruidas estas son reemplazadas hipotéticamente por una construcción básica (e.g. vivienda de interés social). En el caso de las viviendas averiadas se estima, con base en el costo de la vivienda de interés social, que cuatro viviendas averiadas equivalen a una nueva.

Para otros elementos como escuelas y centros de salud, se ha asumido un área mínima a la cual se le ha asignado el mismo valor unitario por metro cuadrado construido que la vivienda de interés social. Para el caso de vías, se hace uso de información del sistema ROCKS (2002) y de estadísticas del porcentaje de vías asfaltadas (World Bank Group, n.d.).

Tabla 4-4 Costo promedio por km de reconstrucción de vías para América Latina.

Material	Valor USD*
Tierra	14,996
Grava	38,246
Asfalto	176,010
Concreto	310,955

Dólares del año 2000

Fuente: ROCKS 2002

Desafortunadamente para Colombia, sólo se tiene reporte del porcentaje de vías asfaltadas hasta el 1999, año en el cual dicho porcentaje fue de 14.4%. Dado que no es posible estimar un valor actualizado de este indicador, se propone considerar que dicho porcentaje ha permanecido estable desde 1999.

El PIB per cápita, requerido para establecer el valor por metro cuadrado de construcción, fue obtenido de la base de datos “Perspectivas de la economía mundial” (IMF 2013). Este valor para el año 2012 fue de 7,854.84 USD. Aunque para Colombia los valores reportados a partir de 2009 son estimados, estos se consideran confiables al considerar la fuente.

Tabla 4-5 Modelo de costos propuesto

	Viviendas Averiadadas	Viviendas Destruídas	Centros Educativos³	Centros de Salud⁴	Vías⁵
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	397.43	397.43	397.43	397.43	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [USD/unidad]	4,471.06	25,037.91	41,729.85	26,707.10	78.12

1	Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente 1.18% PIB per cápita + 304.74
2	Entre los costos que engloba este concepto están: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
3	Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m ²
4	Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención médica de urgencias básicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos médicos y mantenimiento).
5	El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

4.3.3 Aplicación de la metodología

a) Selección del periodo de análisis

Como se puede apreciar en la Figura 4-3, donde se presenta el número de registros disponibles en la base de datos DesInventar por año y de manera acumulada, sólo es a partir de 1970, que el registro de las consecuencias de los desastres ocurridos puede considerarse regular y por tanto adecuado para el análisis propuesto. La Figura 4-4 muestra en mayor detalle el comportamiento

de los registros presentes en la base de datos para el periodo seleccionado (1970-2011).

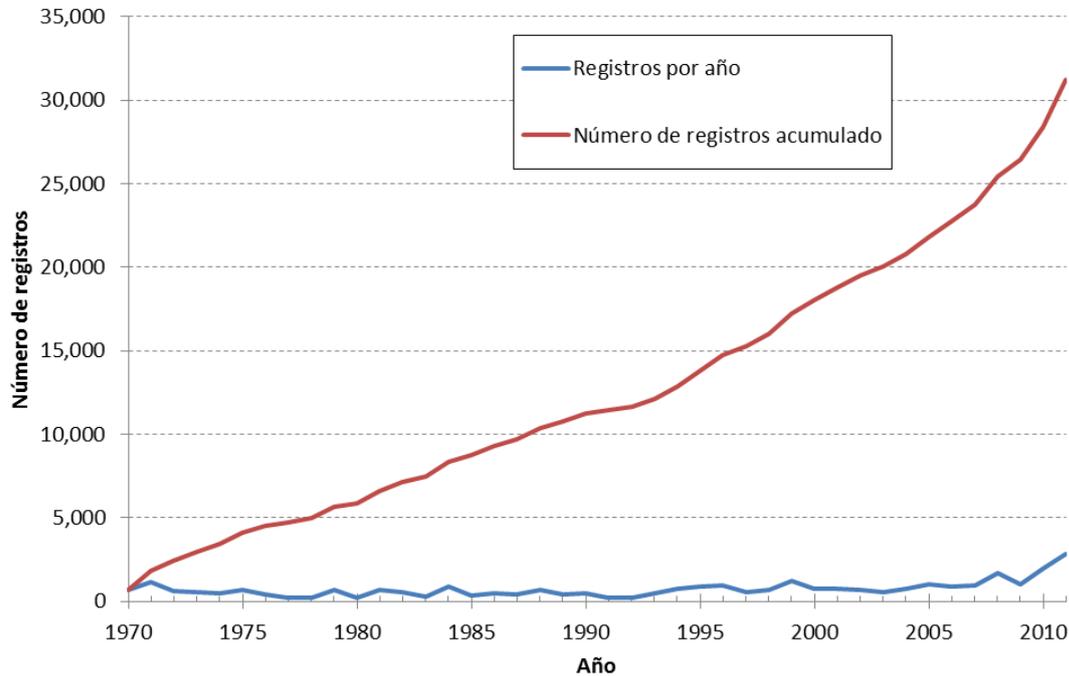


Figura 4-4 Número de registros de la base DesInventar para el periodo 1970-2011

b) Definición de las categorías

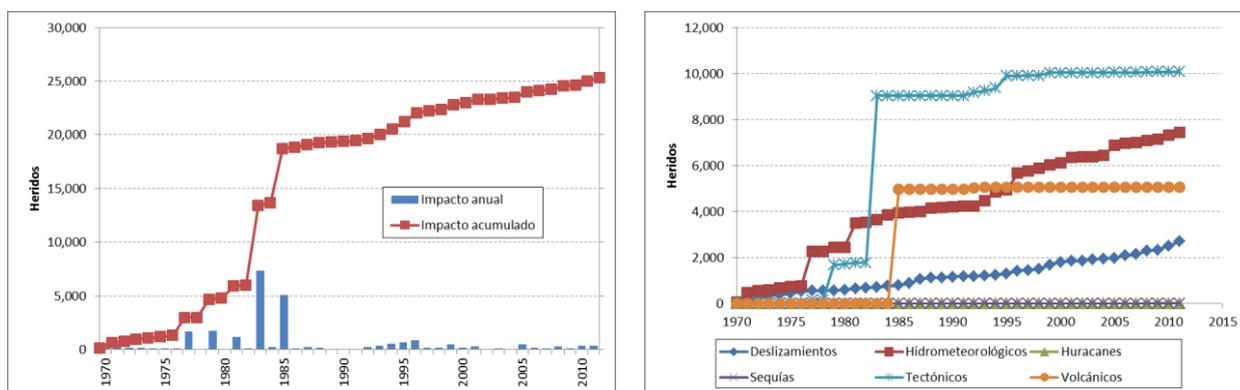
Los registros almacenados en la base de datos contienen, entre otros campos, la fecha de ocurrencia, el impacto sobre diferentes sectores/elementos y la causa de la afectación (considerando que en ocasiones se puede hacer uso de diferentes términos para hacer referencia al mismo tipo de fenómeno y además la potencial complejidad en el manejo y posterior análisis de los registros procesados). Se hará uso de la relación entre causas y categorías propuesta en la Tabla 3-10

La Tabla 4-6 presenta la relación de categorías y causas empleada en el caso de Colombia. Así mismo, esta tabla muestra un resumen del impacto humano y físico (únicamente vivienda) acumulado que han tenido las diferentes causas reportadas en la base de datos durante el periodo estudiado. Las figuras 4-5 a 4-11 presentan de manera gráfica, el impacto que han tenido los desastres (clasificados por categorías de eventos) en la sociedad.

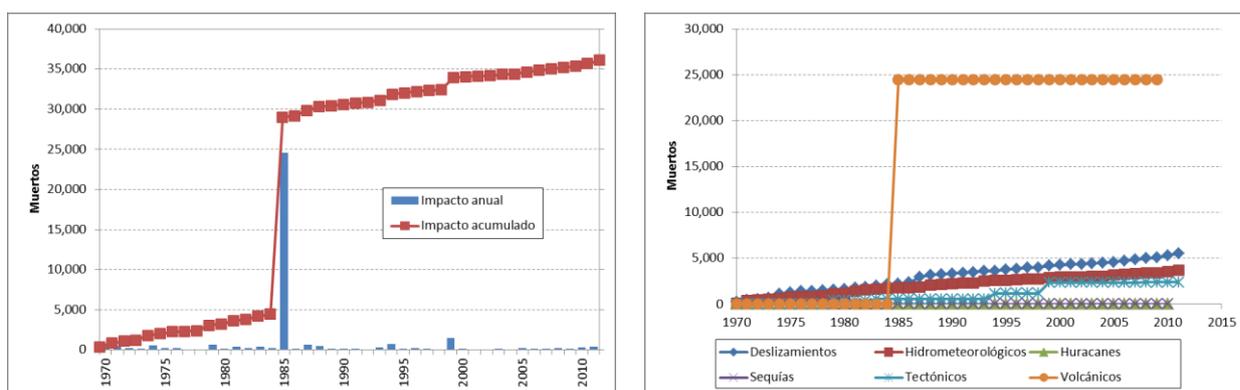
Tabla 4-6 Impacto total por causas y categorías de eventos para el periodo de análisis.

Categoría	Causa	Registros	Heridos	Muertos	Casas averiadas	Casas destruidas
Deslizamientos		7,533	2,705	5,547	85,324	21,776
	Avalancha	25	6	14	1,195	196
	Deslizamiento	7,508	2,699	5,533	84,129	21,580
Hidrometeorológicos		17,913	7,447	3,682	1,213,544	106,619
	Aluvión	1	15	4	0	0
	Cambio línea costera	6	0	0	0	0
	Helada	55	0	0	0	0
	Inundación	12,915	3,858	1,572	1,048,736	81,864
	Inundación súbita	774	1,706	1,512	15,980	9,585
	Lluvia	871	43	176	1,256	610
	Marejada	145	6	38	1,768	1,609
	Neblina	3	0	0	0	0
	Sedimentación	12	0	0	0	0
	Tormenta	275	516	113	3,021	1,410
	Tormenta de granizo	61	4	0	1,051	37
	Tormenta de nieve	1	0	0	0	0
	Tormenta Eléctrica	129	206	131	100	20
	Vientos fuertes	2,665	1,093	136	141,632	11,484
Huracanes		7	22	9	2,005	234
	Ciclón	5	4	9	1,478	232
	Tornado	2	18	0	527	2
Sequías		461	0	2	340	0
	Ola de calor	14	0	2	0	0
	Sequia	447	0	0	340	0
Tectónicos		536	10,078	2,381	76,698	53,632
	Sismo	531	9,044	2,119	75,669	52,020
	Tsunami	5	1,034	262	1,029	1,612
Volcánicos		56	5,068	24,456	102	5,447
	Erupción volcánica	56	5,068	24,456	102	5,447
TOTAL		26,506	25,320	36,077	1,378,013	187,708

En las figuras 4-5 y 4-6 es posible apreciar cuáles han sido los desastres que mayor impacto humano han tenido en Colombia durante el periodo de estudio.



*Figura 4-5 Heridos reportados
Total (izquierda) y por categoría (derecha).*



*Figura 4-6 Muertos reportados
Total (izquierda) y por categoría de eventos (derecha).*

En la Figura 4-5 son claramente visibles los saltos causados por el sismo de Popayán (1983) y por la erupción del volcán Nevado del Ruiz (1985). Por su parte, en la Figura 4-6 es posible apreciar el notable impacto de la avalancha de Armero (1985), la cual fue consecuencia directa de la erupción del volcán Nevado del Ruiz.

La Figura 4-7 muestra el los importantes efectos que han tenido los fenómenos clasificados en la categoría de eventos “hidrometeorológicos” en la vivienda; en especial, durante la últimas dos décadas, donde dichos efectos han aumentado de manera importante.

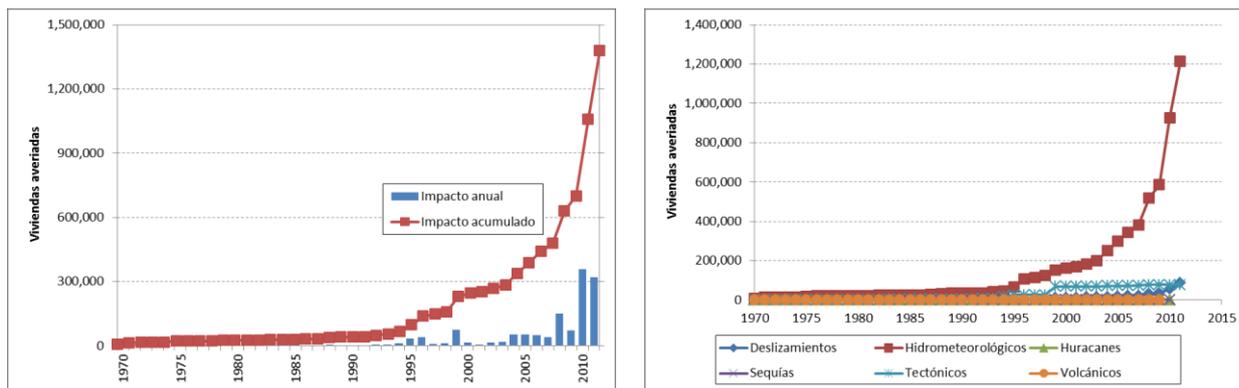


Figura 4-7 Viviendas averiadas reportadas
Total (izquierda) y por categoría de eventos (derecha).

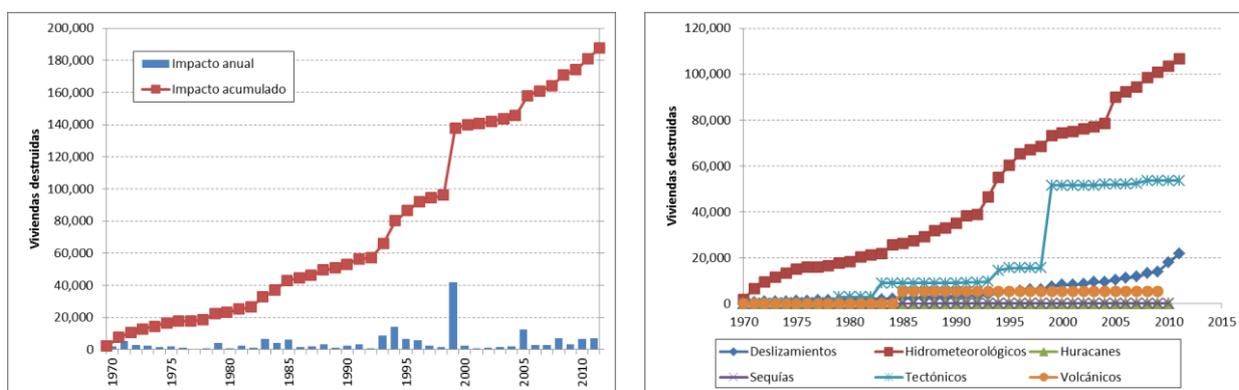


Figura 4-8 Viviendas destruidas reportadas
Total (izquierda) y por categoría de eventos (derecha).

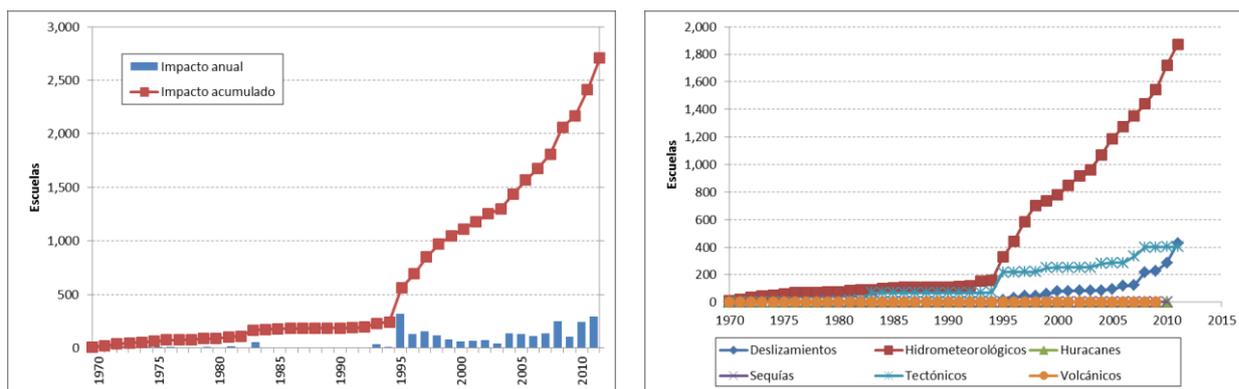


Figura 4-9 Escuelas afectadas reportados
Total (izquierda) y por categoría de eventos (derecha).

La Figura 4-8 ilustra que la destrucción de vivienda en Colombia es casi constante y que, principalmente, esta destrucción ha sido causada por eventos

“hidrometeorológicos”, con una importante contribución de los fenómenos “tectónicos”.

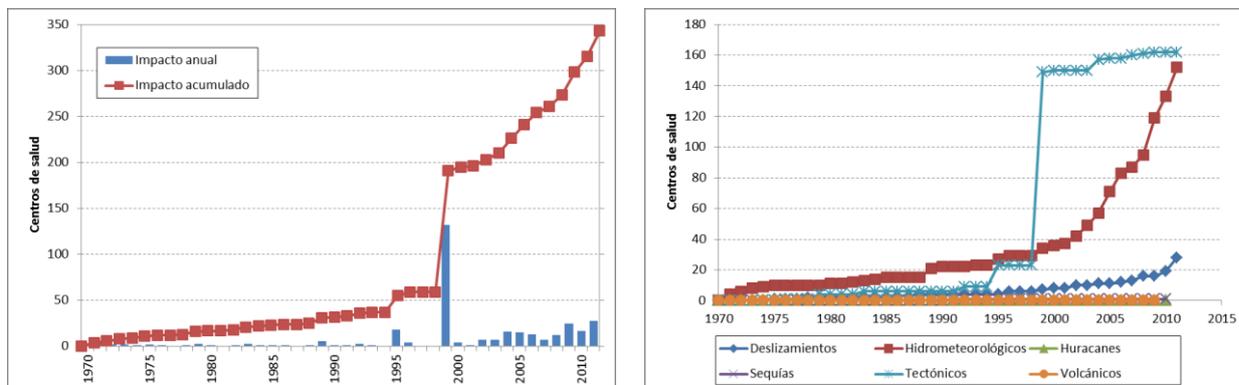


Figura 4-10 Centros de salud afectados reportados
Total (izquierda) y por categoría (derecha).

Las figuras 4-9 y 4-10 muestran respectivamente los efectos sobre escuelas y centros de salud. Se puede apreciar como desde 1995 los efectos sobre estos elementos ha estado creciendo en forma notable y casi constante.

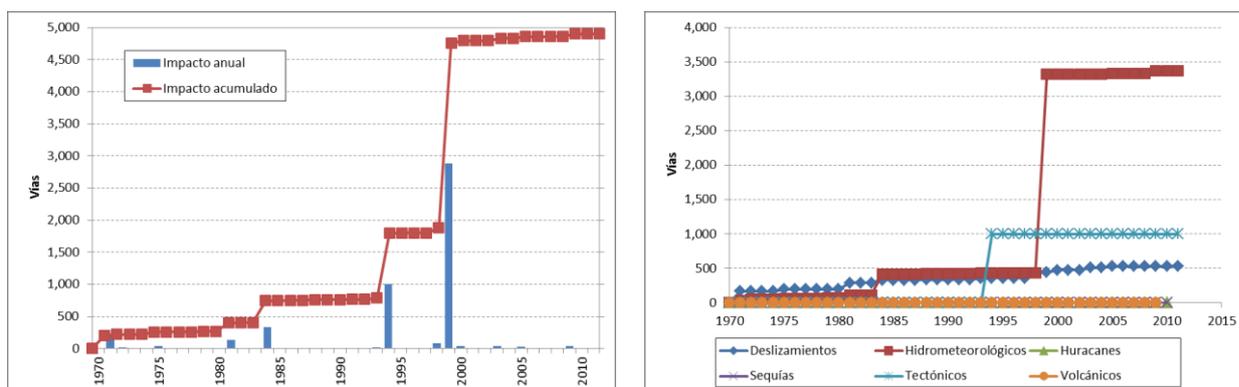


Figura 4-11 Kilómetros de vías dañadas reportados
Total (izquierda) y por categoría de eventos (derecha).

Finalmente, la Figura 4-11 presenta los efectos sobre la infraestructura vial. Impacto que ha sido bastante importante si se considera la escasa y poco resiliente red vial existente (214,000 km en el año 2011 según información del sistema de indicadores del World Bank Group). Cabe destacar que, los efectos sobre la red vial observados para 1999 se debieron a fenómenos hidrometeorológicos (como se puede apreciar en el gráfico derecho) exacerbadados por el fenómeno ENOS.

c) Criterios de agrupación temporal y espacial

Debido a que los registros de la base de datos DesInventar se almacenan a nivel municipal, es necesario definir un mecanismo de agrupación de registros que permita considerar el impacto total de los diferentes eventos ocurridos. Por ejemplo, existen 32 diferentes registros para describir los efectos causados por el sismo de Quindío ocurrido en 1999.

Para determinar los criterios de agrupación de eventos a emplear se realizó un análisis de frecuencias sobre el conjunto de registros seleccionado. En este análisis se examinó para cada categoría de eventos, el número de registros que ocurrían dentro de un determinado intervalo de tiempo (i.e. 15 días). Y se consideraron dos diferentes criterios de agrupación espacial, el primero correspondió a agrupar los registros por departamento y el segundo a agrupar todos los registros ocurridos sobre el país. Estos criterios de agrupación permiten modificar la frecuencia y el impacto de los eventos, es decir, al reducir el intervalo de agrupación se obtendrá un mayor número de registros con un menor impacto individual, y en el caso contrario, si se reduce el número de eventos, se incrementan los daños causados en promedio durante cada ocurrencia. Es por esto que este intervalo debe definirse cuidadosamente, según la información disponible en cada caso.

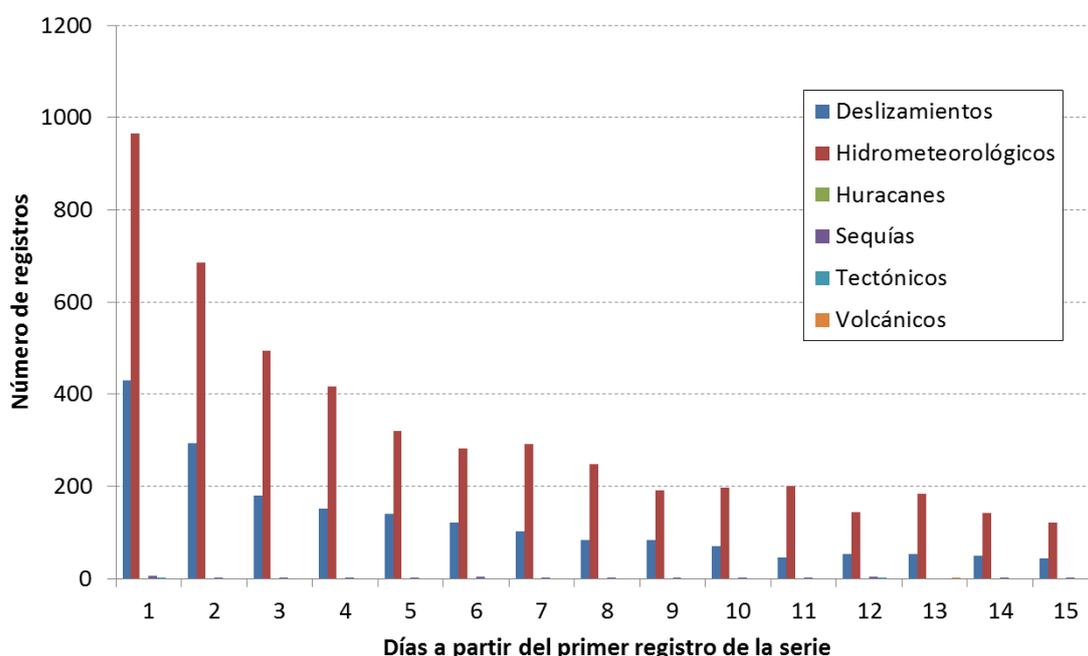


Figura 4-12 Número de registros consecutivos.
Agrupación departamental, por categorías.

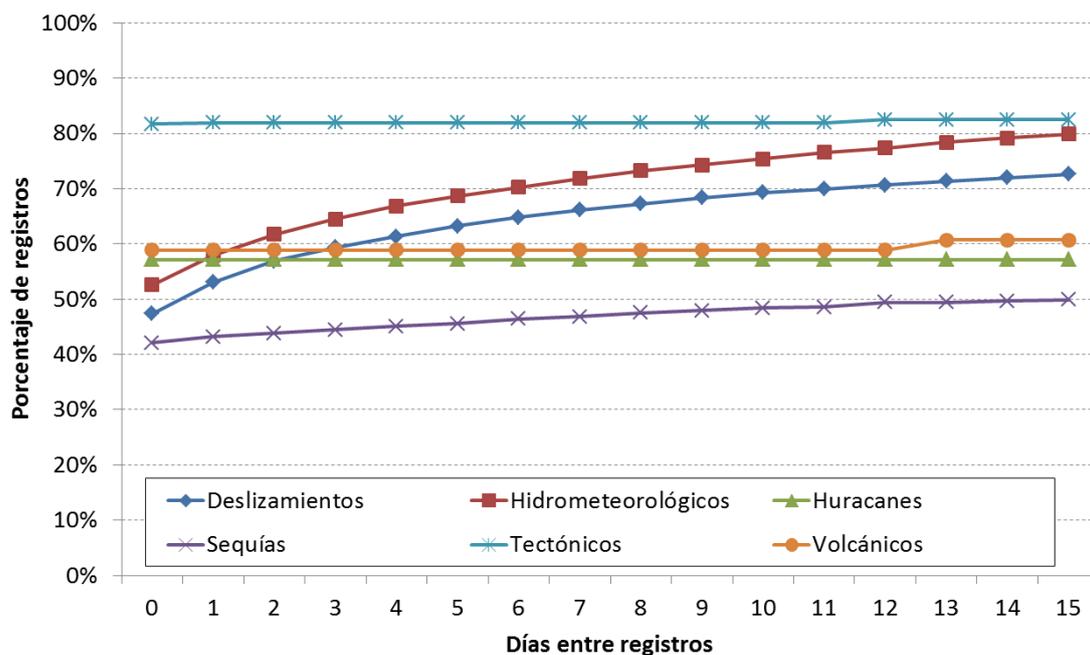


Figura 4-13 Porcentaje acumulado de registros consecutivos.

Agrupación departamental, por categorías de eventos.

Para el criterio de agrupación departamental, la Figura 4-12 muestra para cada categoría, el número de registros que se adicionan por cada día que se extienda el periodo de agrupación. Esta figura presenta, el número de registros disponibles a partir del día siguiente a la ocurrencia misma del evento (i.e. la fecha de su primer reporte) hasta los 15 días posteriores a la misma. La Figura 4-13, presenta de manera acumulada el porcentaje de registros (sobre el total de cada categoría) durante los intervalos de tiempo propuestos.

La Figura 4-14 muestra los gráficos obtenidos para la agrupación a nivel nacional, para cada categoría de eventos, el número de registros que se pueden adicionar por cada día que se extienda el periodo de agrupación, desde el día siguiente de la ocurrencia del evento hasta los 15 días posteriores. La Figura 4-15, presenta de manera acumulada el porcentaje de registros (sobre el total de cada categoría de eventos) durante el intervalo de tiempo propuesto.

Las figuras 4-13 y 4-15, no alcanzan para ninguna categoría el 100% de los registros. Esto se debe a que se excluyeron de las gráficas los registros aislados, es decir, los registros para los cuales no se encontraron registros que cumplieran los criterios iniciales de agrupación (i.e. no se encontraron registros similares dentro del intervalo de tiempo propuesto).

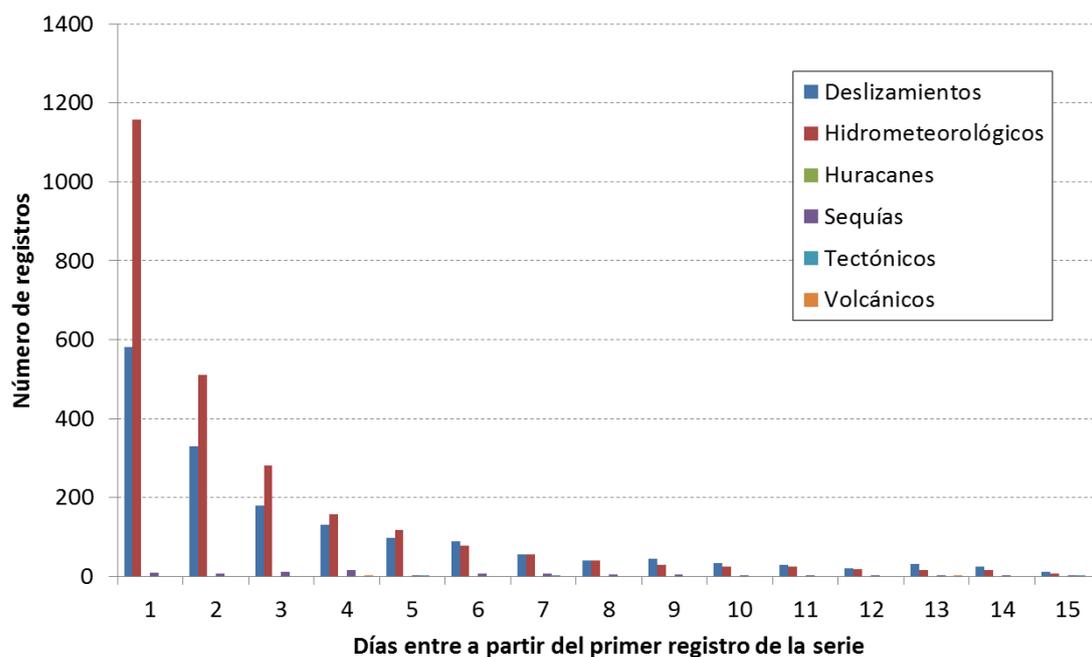


Figura 4-14 Número de registros consecutivos
Agrupación nacional, por categorías.

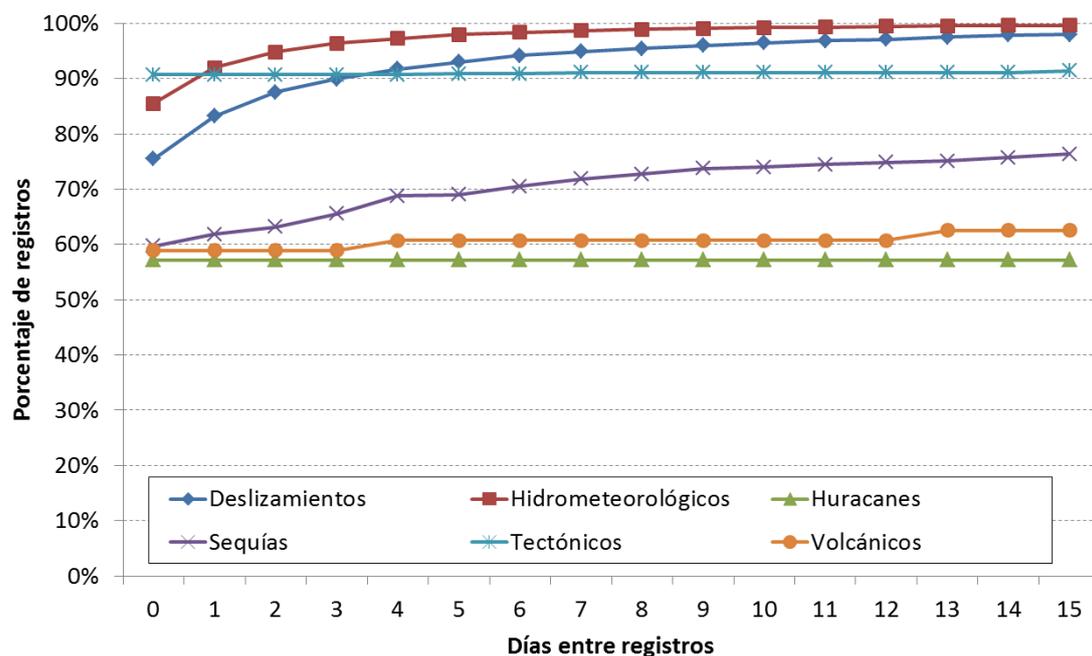


Figura 4-15 Porcentaje acumulado de registros consecutivos.
Agrupación nacional, por categorías de eventos.

Se puede apreciar de las figuras 4-13 y 4-15 como para las categorías “Huracanes” y “Volcánicos”, el criterio de agrupación espacial no cambia de manera considerable el número de registros a acumular. Esto se debe, a que los eventos de ambas categorías tienen un área de acción bastante definida. En el

caso de las “Sequías” y los eventos “Tectónicos”, se puede notar como se presentan incrementos del 20% y del 10%, respectivamente.

Un caso particular corresponde a los fenómenos “Hidrometeorológicos” y a los “Deslizamientos”, donde se puede observar el comportamiento similar de las curvas respectivas. Según estas figuras, se puede especular que un importante número de deslizamientos fueron propiciados por las lluvias y tormentas. Por tanto, se puede esperar que los fenómenos hidrometeorológicos acumulen gran parte del daño causado por los deslizamientos. Con respecto al nivel de agrupación a emplear para estas dos categorías de eventos, se considera que el área de impacto de ambas es en general puntual, es decir una ladera o una cuenca, por lo cual no se considera conveniente el criterio de agrupación nacional.

Tabla 4-7 Criterios de agrupación por categoría de eventos

Categoría	Agrupación espacial	Agrupación temporal
Deslizamientos	Departamental	2 días
Hidrometeorológicos	Departamental	5 días
Huracanes	Nacional	5 días
Sequías	Nacional	15 días
Tectónicos	Nacional	2 días
Volcánicos	Nacional	5 días

A continuación, se presenta en la Tabla 4-8 un resumen con los efectos básicos de los registros de las diferentes categorías de eventos antes de agrupar.

Tabla 4-8 Efectos acumulados de las diferentes categorías de eventos antes de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas averiadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	7,533	2,705	5,547	85,324	21,776
Hidrometeorológicos	17,913	7,447	3,682	1,213,544	106,619
Huracanes	7	22	9	2,005	234
Sequía	708	1,966	23	400	0
Tectónicos	536	10,078	2,381	76,698	53,632
Volcánicos	56	5,068	24,456	102	5,447

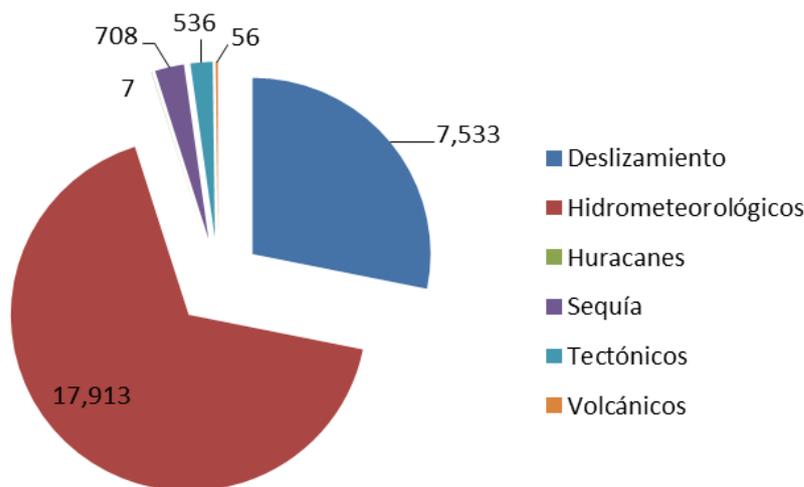


Figura 4-16 Número de registros por categoría de eventos antes de la agrupación.

Adicional a los criterios de agrupación mostrados en la Tabla 4-7, los cuales corresponden a registros de una misma categoría, también se incluirán efectos indirectos, es decir, se considerará registros de otras categorías que muy seguramente ocurrieron o fueron propiciados a causa de la materialización de otra categoría de eventos. La Tabla 4-9 muestra las relaciones a considerar entre las categorías de eventos definidas. Los criterios de agrupación espacial y temporal serán los mismos que los de la categoría de eventos detonante, los cuales fueron definidos en la Tabla 4-7.

Tabla 4-9 Criterios de agrupación entre categorías de eventos

Categoría detonante	Categoría detonada
Deslizamientos	–
Hidrometeorológicos	Deslizamientos
Huracanes	Hidrometeorológicos, Deslizamientos
Sequías	–
Tectónicos	Deslizamientos
Volcánicos	Deslizamientos

La Tabla 4-10 presenta los resultados de la agrupación después de considerar los criterios anteriormente definidos.

Tabla 4-10 Efectos acumulados según las diferentes categorías de eventos después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas averiadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	3,184	2,023	4,419	52,509	13,127
Hidrometeorológicos	8,270	8,122	4,803	1,245,890	115,180
Huracanes	4	29	15	13,305	599
Sequía	154	0	2	340	0
Tectónicos	87	10,086	2,389	76,742	53,663

Volcánicos	30	5,073	24,473	1,707	5,542
------------	----	-------	--------	-------	-------

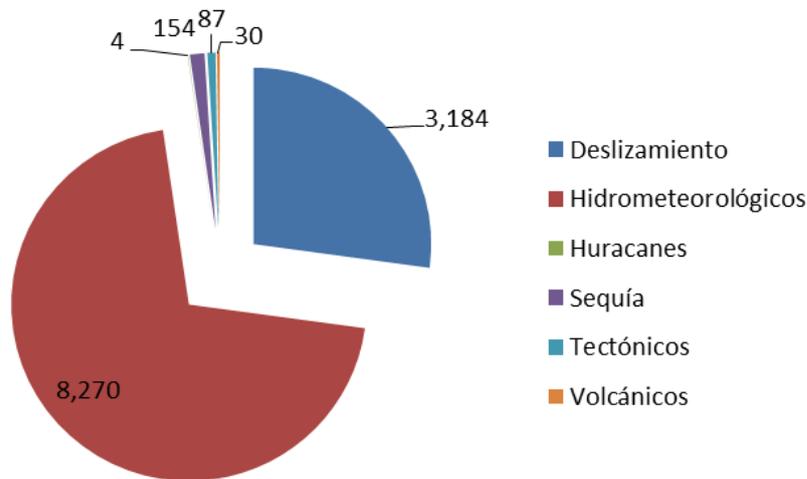


Figura 4-17 Número de registros por categoría después de agrupación.

d) Valoración de los eventos

Aplicando la metodología propuesta en el numeral 3.1.3, la cual fue desarrollada en el numeral 4.3.2 se pudo obtener una valoración inicial del impacto económico que cada evento ha tenido sobre los municipios colombianos. Los valores obtenidos no pretenden valorar el costo total causado por cada evento, ya que esto requeriría una detallada investigación puntual, que tenga en cuenta más sectores que los aquí evaluados, sin olvidar los efectos indirectos y los efectos macroeconómicos (como se propone en el manual de la CEPAL, 2003).

Teniendo en cuenta las limitaciones el objeto de la metodología propuesta, se realiza una valoración inicial mínima de los daños, es decir un valor base que sólo considera los efectos causados sobre infraestructuras básicas gubernamentales (únicamente educación, salud y transporte) y sobre la vivienda de la población vulnerable, para con la cual se estima existe algún tipo de responsabilidad fiscal de parte del gobierno. A continuación se presenta la Tabla 4-11, la cual resume los resultados obtenidos.

Tabla 4-11 Pérdidas económicas de los eventos ocurridos en el periodo 1970-2011

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada [Mill. USD]	Pérdida anual [Mill. USD]
Deslizamiento	3 184	76	615	14.6
Hidrometeorológicos	8 270	197	8 826	210
Huracanes	4	0	75	1.8
Sequía	154	4	1.6	38
Tectónicos	87	2	1 790	42.6

Volcánicos	30	1	146	3.5
TOTAL 42 años	11 729	279	11 456	272

4.3.4 Resultados

Una vez se han completado los diferentes pasos de la metodología propuesta, es posible analizar los efectos que los diferentes fenómenos naturales han tenido en la sociedad. Los resultados obtenidos pueden considerarse estimativos conservadores o bajos del impacto real causado por cada desastre, esto debido al reducido número de sectores considerados, al uso de elementos básicos (de interés social) para la valoración de los daños y al hecho de omitir otros efectos (i.e. indirectos y macroeconómicos) que en ciertos casos pueden ser de mayor importancia.

Ya que cada registro de la tabla obtenida es conservado de manera individual, es posible obtener el nivel de amenaza de los diferentes municipios de Colombia en función de las pérdidas totales acumuladas durante el periodo de análisis. Para la definición de los niveles de amenaza se empleó como unidad básica el costo de la unidad de vivienda previamente definido y como criterio, un costo equivalente a la pérdida promedio anual de un determinado número de unidades, como se muestra en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12 Niveles de amenaza

Nivel de amenaza	Número equivalente de viviendas	Valor representado [USD]
Muy bajo	≤ 1	$\leq 1'051,554$
Bajo	< 5	$5'527,770$
Medio	< 10	$10'515,540$
Medio-Alto	≤ 25	$26'288,850$
Alto	> 25	$> 26'288,850$

Según la definición de la tabla anterior, un municipio que sufre en promedio el equivalente a la destrucción anual de una casa fue clasificado como amenaza muy baja; si por el contrario, un municipio sufre en promedio el equivalente a la destrucción de 25 o más casas anualmente, este fue clasificado como amenaza alta. La Figura 4-18 muestra el resultado de esta clasificación en función del porcentaje de municipios clasificados. La Figura 4-19 presenta la misma información pero en función de la población, la cual debe leerse como el porcentaje de la población colombiana que habita en un municipio con un determinado nivel de amenaza y no necesariamente que está directamente expuesta a dicho nivel de amenaza.

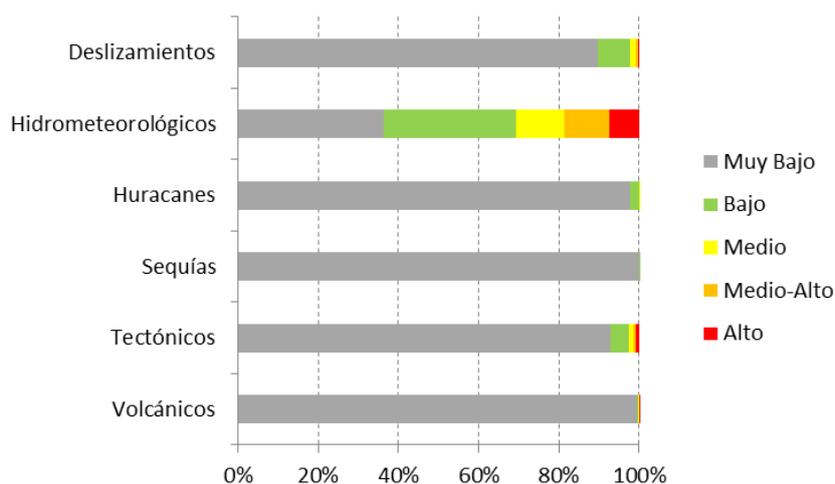


Figura 4-18 Porcentaje de municipios según nivel de amenaza.

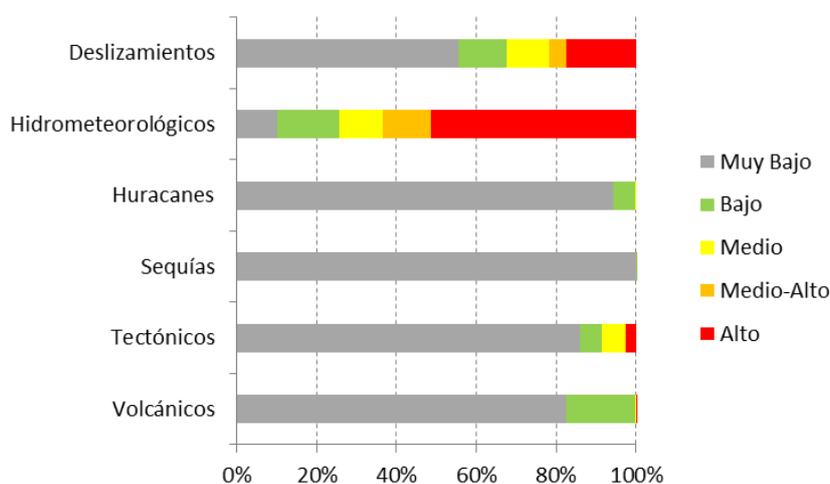


Figura 4-19 Porcentaje de la población que habita en municipios con determinado nivel de amenaza.

Como puede observarse de las figuras anteriores los fenómenos pertenecientes a las categorías “Huracanes”, “Sequias”, “Tectónicos”, y “Volcánicos”, tienen efectos bastante concentrados. En el caso de huracanes, los efectos se distribuyen sobre la región norte, en particular los departamentos de La Guajira y San Andrés y Providencia. En el caso de fenómenos tectónicos, los efectos han estado alrededor de los municipios de Popayán y de Armenia, lo que corresponde a los dos principales sismos registrados en la base de datos. Para los fenómenos volcánicos, el principal evento correspondió a la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, aunque también hay unos cuantos registros en los municipios cercanos al volcán Galeras.

Dado que los deslizamientos y los fenómenos hidrometeorológicos tienen efectos en un área bastante dispersa para ser descrita, en estos casos se hace uso de una representación gráfica mediante las figuras 4-20 y 4-21.

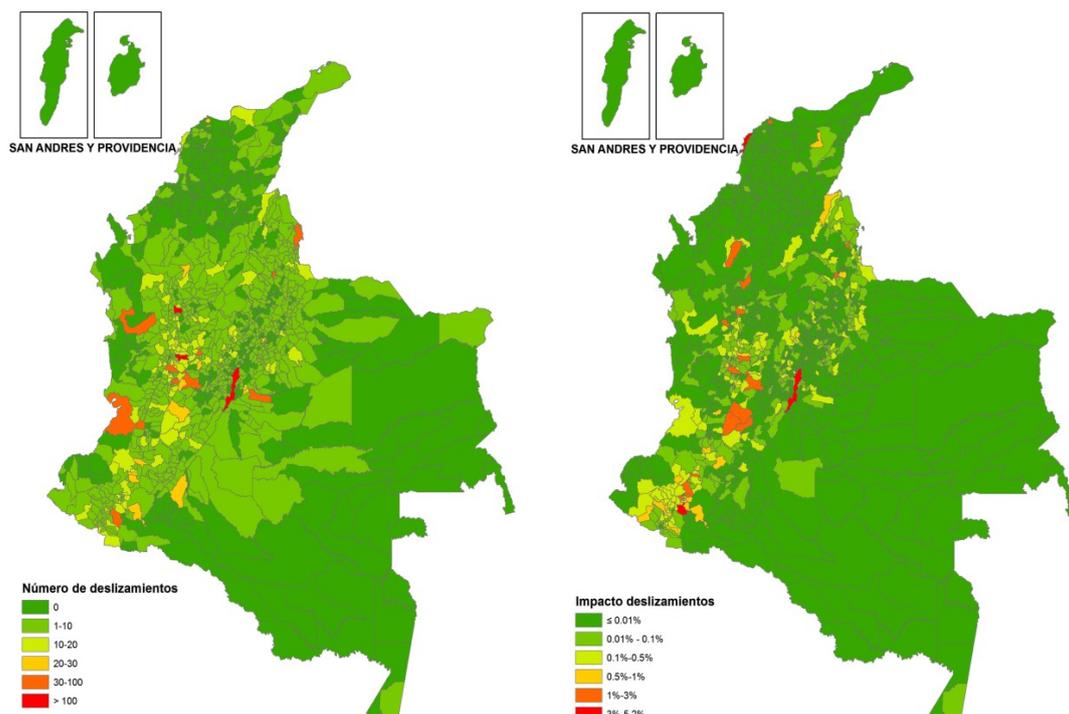


Figura 4-20 Municipios afectados por deslizamientos.

Izquierda: número de registros, Derecha: costo de los efectos como porcentaje del total.

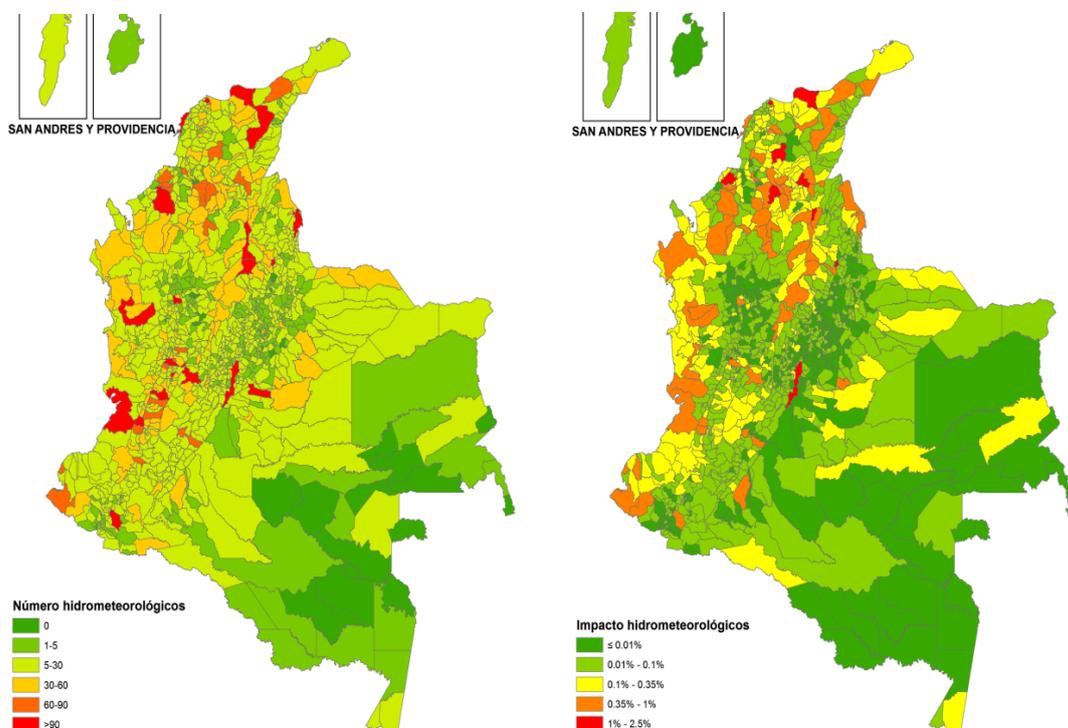


Figura 4-21 Municipios afectados por fenómenos hidrometeorológicos.

Izquierda: número de registros, Derecha: costo de los efectos como porcentaje del total

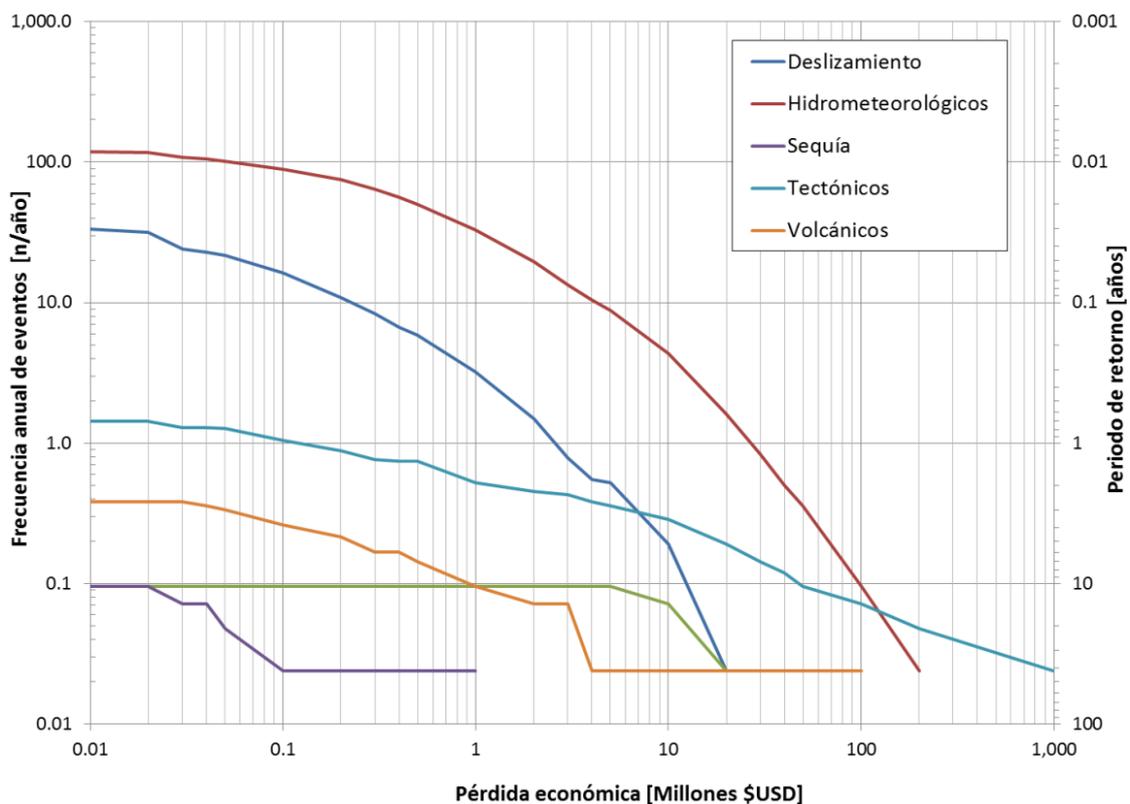


Figura 4-22 Curvas de excedencia de pérdidas, por categoría.

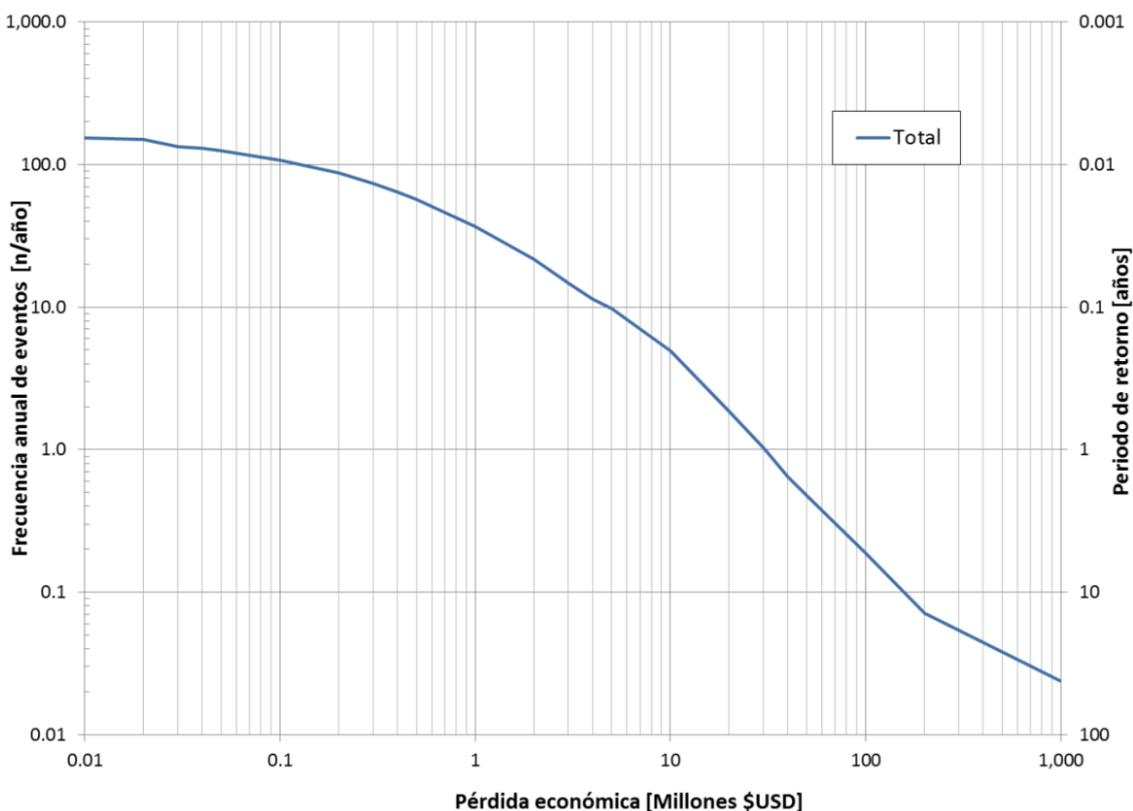


Figura 4-23 Curva de excedencia de pérdidas para todos los fenómenos naturales.

Finalmente, es posible realizar un análisis de frecuencias de las diferentes pérdidas sufridas durante el periodo de análisis, con lo que es posible construir la curva retrospectiva de excedencia de pérdidas. La Figura 4-22 presenta las curvas de excedencia de pérdidas para las diferentes categorías de fenómenos naturales consideradas. La Figura 4-23 presenta la curva de excedencia para el conjunto total de amenazas naturales evaluado. En estas curvas es posible observar la frecuencia anual con la cual diferentes valores de pérdida económica han ocurrido.

4.4 Evaluación prospectiva del riesgo

En general, se puede decir que la evaluación retrospectiva del impacto de los desastres se limita principalmente a eventos frecuentes, cuyo impacto individual no alcanza a comprometer la estabilidad económica ni social de una región. Esto quiere decir, que en las bases de datos de desastres no existe la suficiente información que permita estimar de manera confiable el impacto causado por fenómenos poco frecuentes y de gran impacto. Es por esto que, la evaluación del impacto de los eventos catastróficos requiere del uso de modelos matemáticos que permitan en base al conocimiento actual y a la información disponible estimar con cierta confianza sus consecuencias en caso de ocurrencia. Para dar cuenta del riesgo catastrófico, los modelos a emplear deben emplear la aritmética adecuada para la integración de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, al mismo tiempo que se debe dar cuenta de las varias incertidumbres.

Según la posible área que un fenómeno natural puede impactar, así como la cantidad de energía liberada en el proceso, en esta tesis se han considerado únicamente dos tipos de fenómenos naturales catastróficos: los sismos y los huracanes. La Figura 4-24 muestra el mapa generado por el proyecto de evaluación global de la amenaza sísmica (GSHAP), en dicho mapa es posible observar cómo, la totalidad del territorio colombiano se encuentra con un algún nivel de amenaza sísmica. Por otra parte, la Figura 4-25 presenta la mayoría de las trayectorias de huracanes que han ocurrido cerca del continente americano. Según esta figura, el nivel de amenaza por huracán y su posible impacto sobre Colombia es extremadamente bajo, por lo cual esta amenaza no será considerada.

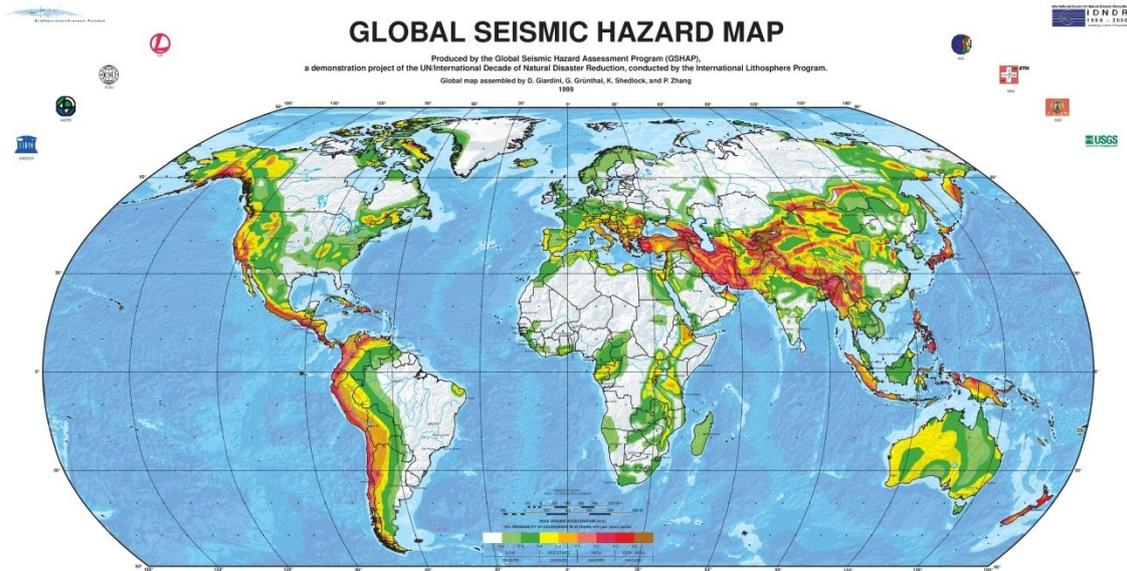


Figura 4-24 Mapa global de amenaza sísmica.

Fuente: USGS – GSHAP, 1999.

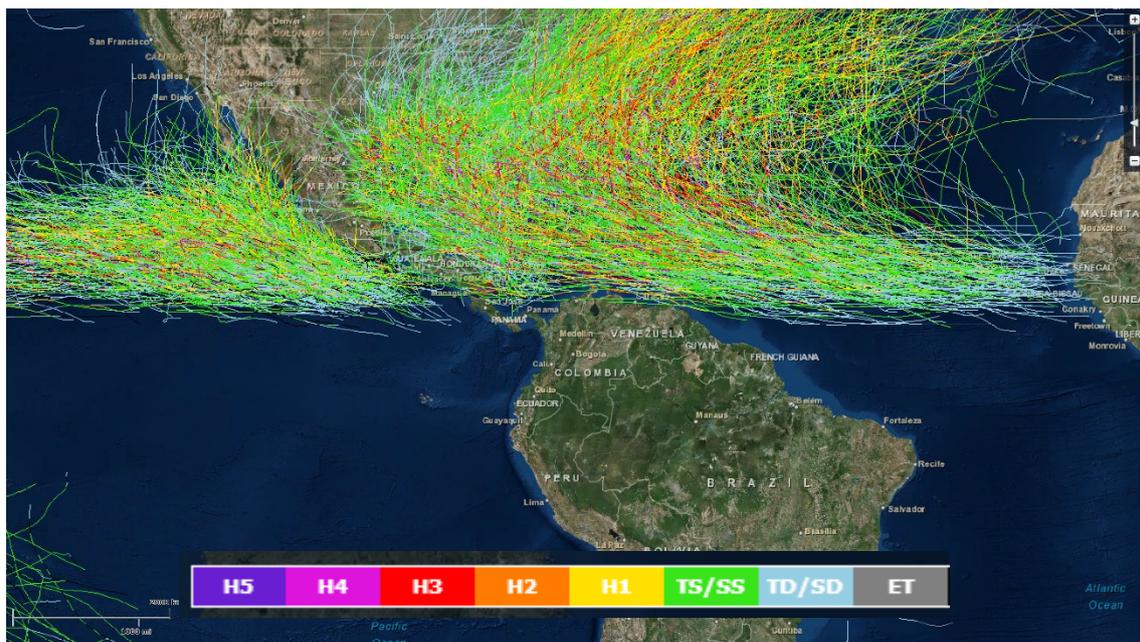


Figura 4-25 Mapa de trayectorias de huracanes.

Fuente: NOAA, 2015.

4.4.1 Modelo de amenaza por sismo

Colombia se localiza en una región de importante sismicidad debido a la interacción de las placas tectónicas del Caribe, Nazca y Suramericana, como se ilustra en la Figura 4-26. Del anterior conjunto, es la subducción de la placa Nazca bajo la placa suramericana la que genera la mayor y más intensa cantidad

de actividad sísmica. Debido a la interacción permanente de estas placas, la región es impactada constantemente por sismos de diferentes magnitudes como se ilustra de manera parcial en la Figura 4-27 y la Tabla 4-13.

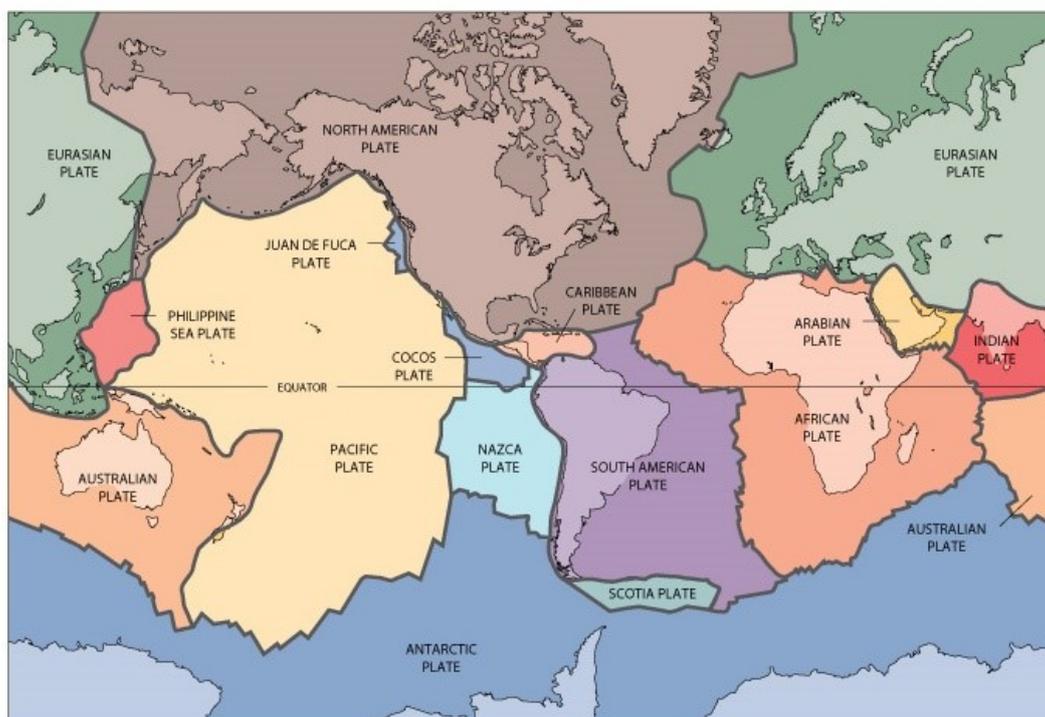


Figura 4-26 Principales placas tectónicas.

Fuente: USGS, 2015.

La información presentada en la Tabla 4-13 y en la Figura 4-27 han sido obtenidas de la página web del USGS para el periodo de 1970-01-01 a 2014-01-01; dentro de una región geográfica definida por las latitudes: -5.60N a 13.10N, y las longitudes: -80E a -66E.

Tabla 4-13 Número de eventos sísmicos desde 1970 con Magnitud superior a 3.

Década	Número de eventos por rango de Magnitud						Total
	3	4	5	6	7	8	
1970	27	593	171	13	6	1	811
1980	43	689	184	10	2		928
1990	444	1 033	142	18	5		1 642
2000	333	965	105	10	1		1 414
2010*	11	302	24	3	2		342
Total	858	3582	626	54	16	1	5137

Fuente: USGS 2015

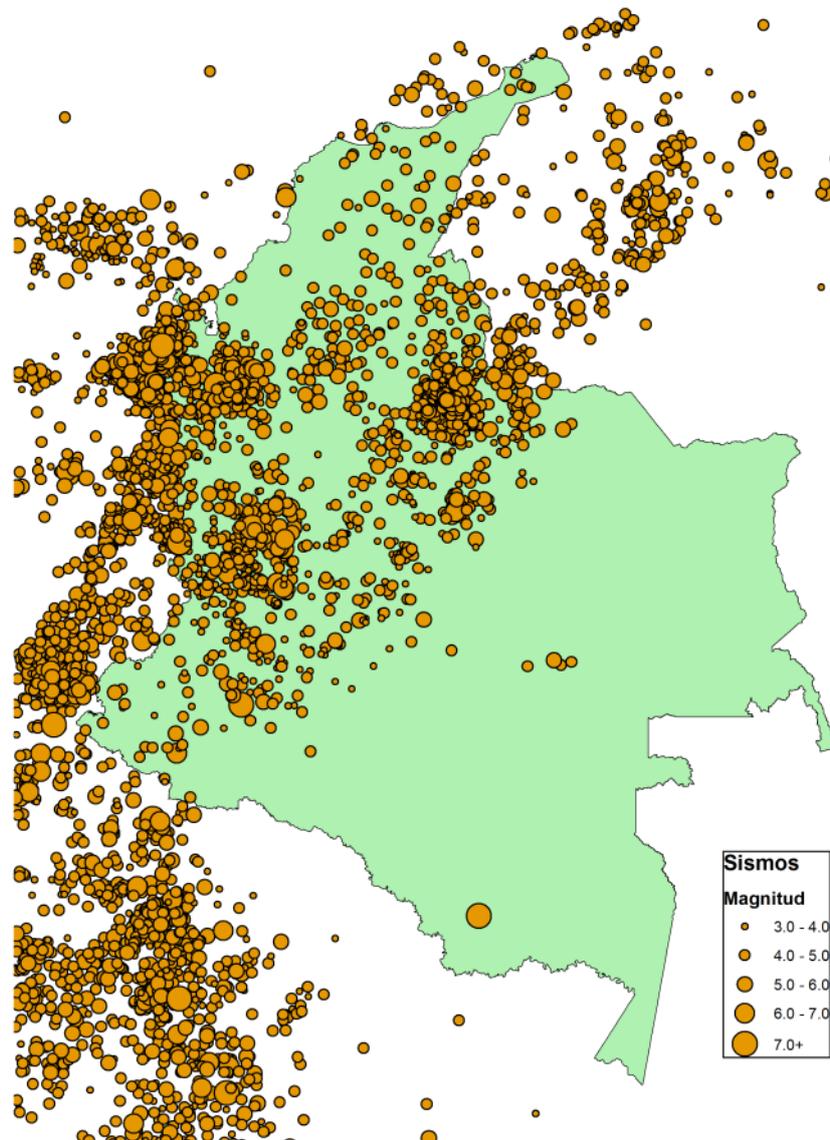


Figura 4-27 Eventos sísmicos desde 1970 con magnitud superior a 3 cerca a Colombia continental.

Fuente USGS, 2015.

En 2010, la Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana (AIS) publicó el más reciente estudio de la amenaza sísmica colombiana, como parte de la actualización de la normativa local para construcciones sismo-resistentes. El “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia – 2009” (AIS 2010), presenta el más reciente análisis de las diferentes fuentes sismogénicas que debido a su ubicación, pueden generar eventos que afecten parte del territorio colombiano. El estudio de la AIS emplea un catálogo de eventos más extenso que el presentado en la Tabla 4-13, el cual depurado contiene más de 7400

registros. La Figura 4-28 muestra la proyección en superficie de las diferentes fuentes que dicho estudio considero para definir la amenaza sísmica actual de Colombia.

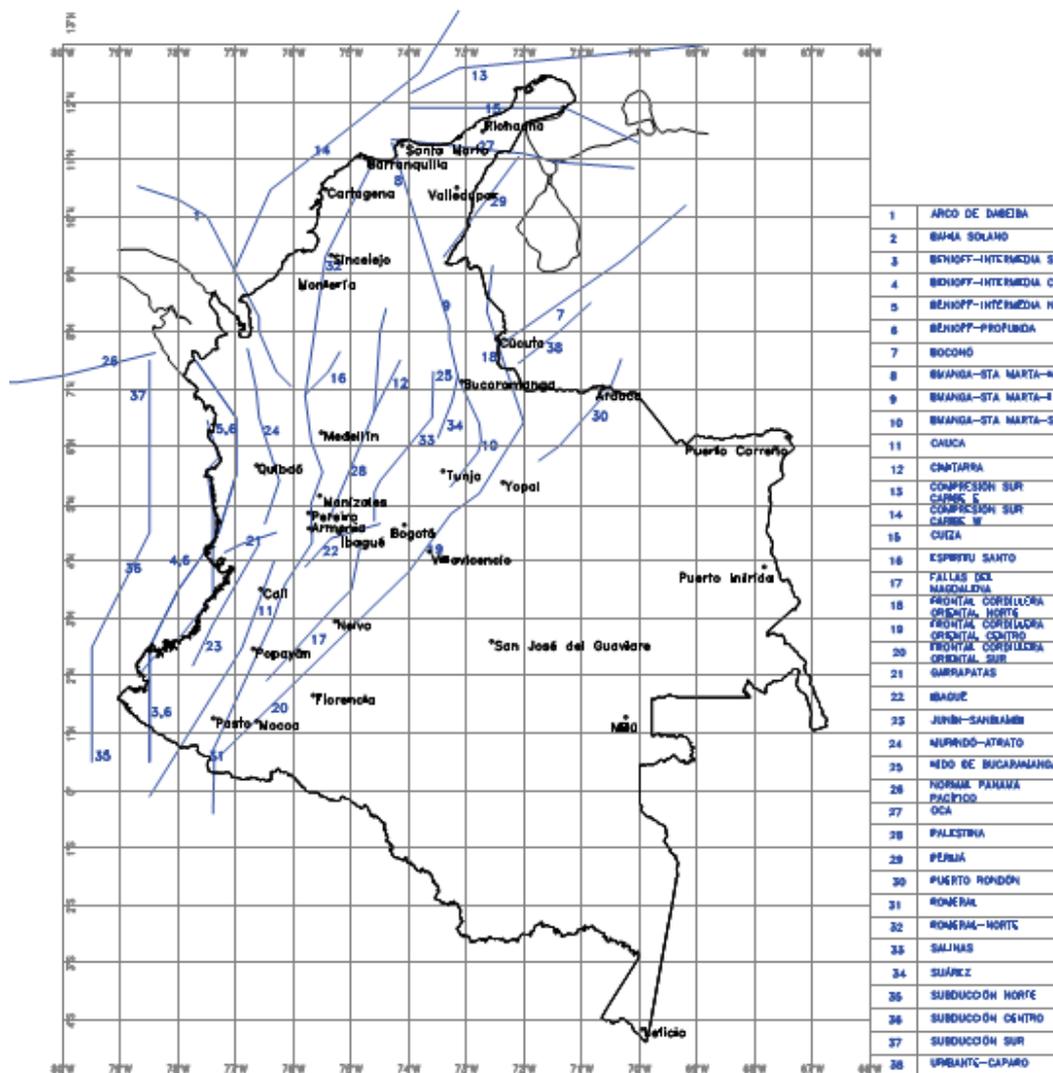
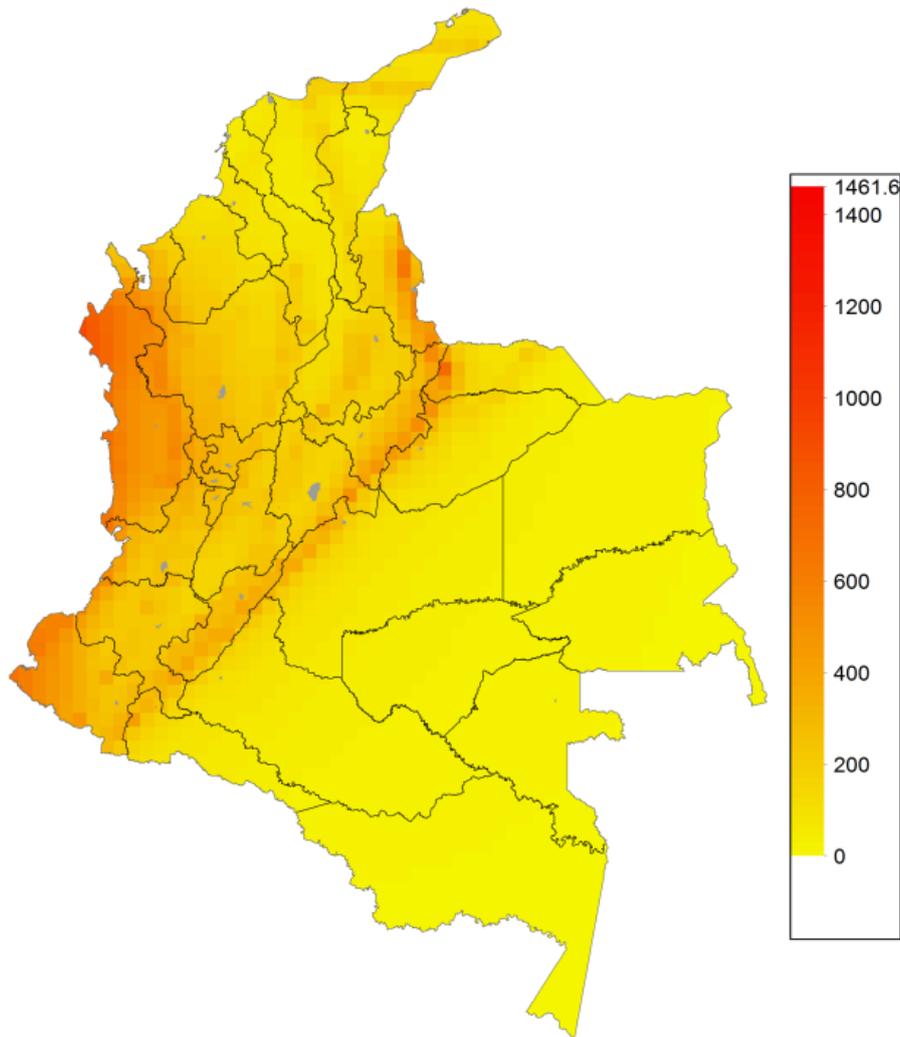


Figura 4-28 Proyección de fallas en superficie.

Fuente: AIS 2010.

Empleando la información disponible en el estudio de la AIS, y digitalizando la geometría de las fuentes, fue posible construir un modelo de amenaza sísmica para Colombia. Este modelo fue construido empleando la herramienta computacional CRISIS 2007 (Ordaz et al 2007), la cual permite generar un catálogo exclusivo (i.e. cada evento está incluido una única vez) y exhaustivo (i.e. todas las posibles manifestaciones de la amenaza) de posibles eventos, cada uno de los cuales incluye: localización, magnitud y frecuencia anual de ocurrencia esperada. Adicionalmente, es posible obtener mapas de amenaza uniforme directamente desde la herramienta CRISIS 2007, los cuales permiten

reconocer los lugares que para una misma probabilidad de excedencia tienen una mayor amenaza. La Figura 4-29 muestra un mapa de amenaza uniforme para eventos con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, en la que se grafica la aceleración máxima en roca (i.e. no se consideran efectos de sitio).



*Figura 4-29 Mapa de amenaza uniforme para 10% de probabilidad de excedencia en 50 años
Aceleración máxima en roca (cm/seg²).*

A continuación se compara el modelo producido con los valores reportados en el estudio de la AIS (2010) para las ciudades capitales departamentales. Como se puede observar en la Figura 4-30, existen unas pequeñas diferencias entre los

valores reportados en el Estudio de la AIS (2010) y los valores obtenidos en el modelo elaborado. Parte de estas diferencias provienen de la definición de las fuentes, debido a que fue necesario llevar a cabo un proceso de digitalización sobre las imágenes disponibles, tanto su geometría como su localización pueden variar con respecto a la información del estudio de la AIS. Otra fuente de diferencia corresponde a la localización exacta de los puntos donde se obtuvo la lectura (las ciudades capitales departamentales) para la figura, ya que para este estudio se utilizó cartografía disponible del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, la cual representa las ciudades mediante polígonos y el punto empleado para cada ciudad (en este estudio el centroide) puede ser diferente del seleccionado en el estudio de la AIS.

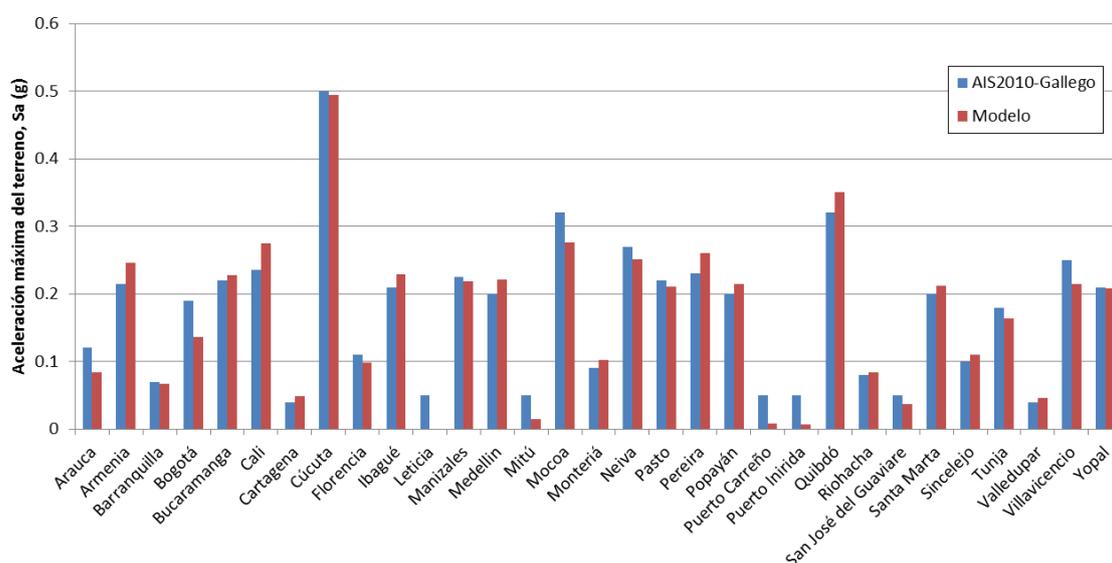


Figura 4-30 Comparación de valores de aceleración máxima en roca para las ciudades capitales departamentales con un periodo de retorno de 475 años. Modelo Gallego (AIS2010) y modelo generado.

Es de anotar que aunque se presentan diferencias entre el modelo de la AIS (2010) y el modelo generado para este estudio, estas en general se pueden considerar menores y que en general las mismas están dentro de unos intervalos que permiten considerar el modelo adecuado para la evaluación del riesgo catastrófico por sismos en Colombia.

4.4.2 Modelo de exposición física

La evaluación prospectiva del riesgo debido a fenómenos naturales, combina la acción de cada uno de los eventos que conforman la amenaza sobre los bienes e inmuebles que pueden verse impactados debido a dicha ocurrencia. Es por esto que es necesario construir un modelo que permita en términos generales

conocer cuáles son los elementos expuestos, sus características y su ubicación aproximada. De manera ideal, este modelo de exposición estaría conformado por una base de datos catastral que indique para cada propiedad su ubicación exacta, sus características, su valor comercial y su valor de reposición. Aunque, en la mayoría de los casos existen bases de datos catastrales para las ciudades principales, estos no necesariamente contienen toda la información requerida, muchas veces cuentan con información desactualizada y por lo general, debido a razones de privacidad y seguridad no son públicamente accesibles.

Considerando la necesidad imperativa de contar con un modelo de exposición física para poder evaluar el impacto futuro de las diferentes amenazas naturales a estudiar, se propone la construcción de un modelo aproximado basado en estadísticas sociales y demográficas. Debido a la naturaleza misma del modelo, éste, solo puede ser empleado para la evaluación del impacto nacional de las diferentes amenazas. La exposición se concentra de manera puntual para cada municipio, es decir, su ubicación es aproximada y no corresponde con la real; y además, las características de cada elemento expuesto en el modelo no corresponden a su descripción detallada sino a una caracterización general.

El modelo de exposición física desarrollado introduce nuevas incertidumbres, tanto en el número de elementos, sus características, condiciones, estado, ubicación y valor. Esta es una razón más para usar un modelo probabilista, que permita al considerar las distintas incertidumbres obtener un valor esperado de pérdidas, junto con su correspondiente intervalo de confianza. A continuación se detallan las diferentes fuentes de información y su uso para la elaboración del modelo de exposición

a) Población

La población municipal fue obtenida de proyecciones oficiales del DANE. A continuación se presenta en la Figura 4-31, la población total proyectada para el año 2012 de cada municipio. Así mismo, en la Tabla 4-14, se puede apreciar la población por departamento, discriminada por cabeceras municipales, resto municipal y total.

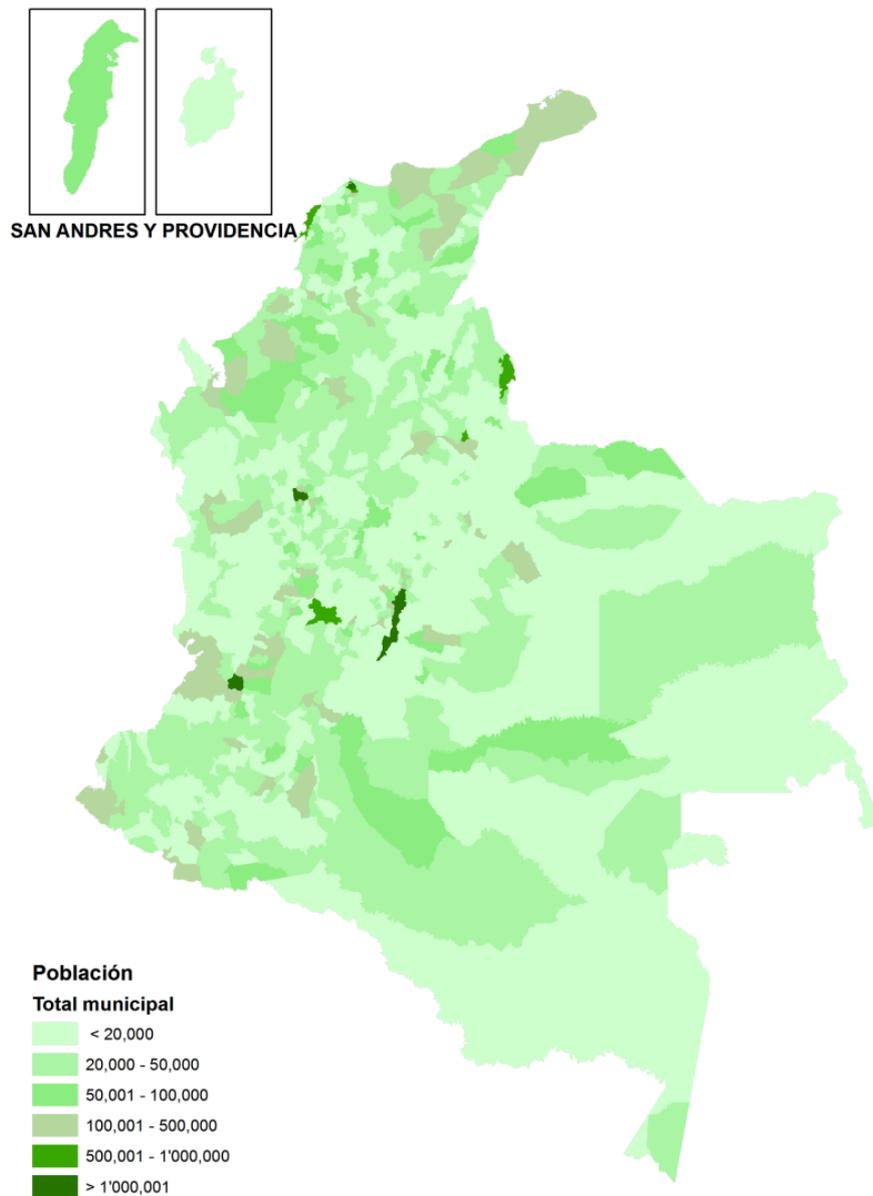


Figura 4-31 Mapa de población municipal para 2012.

Tabla 4-14 Proyección de población por departamentos para 2012.

Departamento	Total	Cabeceras	Resto
Antioquia	6,221,817	4,834,074	1,387,743
Atlántico	2,373,550	2,267,321	106,229
Bogotá, D.C.	7,571,345	7,555,165	16,180
Bolívar	2,025,573	1,556,550	469,023
Boyacá	1,271,133	702,696	568,437
Caldas	982,207	697,374	284,833
Caquetá	459,515	268,034	191,481
Cauca	1,342,650	528,306	814,344

Cesar	991,584	729,791	261,793
Córdoba	1,632,637	855,404	777,233
Cundinamarca	2,557,623	1,701,018	856,605
Chocó	485,543	238,067	247,476
Huila	1,111,947	665,880	446,067
La Guajira	874,532	478,146	396,386
Magdalena	1,223,875	886,046	337,829
Meta	906,805	681,708	225,097
Nariño	1,680,795	814,717	866,078
Norte de Santander	1,320,777	1,029,594	291,183
Quindío	555,836	485,952	69,884
Risaralda	935,910	728,845	207,065
Santander	2,030,775	1,519,239	511,536
Sucre	826,780	546,390	280,390
Tolima	1,396,038	945,886	450,152
Valle del Cauca	4,474,369	3,899,913	574,456
Arauca	253,565	158,072	95,493
Casanare	337,886	246,297	91,589
Putumayo	333,247	158,431	174,816
Archipiélago de San Andrés	74,541	53,552	20,989
Amazonas	73,699	27,679	46,020
Guainía	39,574	12,215	27,359
Guaviare	106,386	60,586	45,800
Vaupés	42,392	16,024	26,368
Vichada	66,917	28,166	38,751
Total Nacional	46,581,823	35,377,138	11,204,685

Fuente: DANE 2014

b) Niveles de complejidad

El nivel de complejidad es una clasificación adicional que permite establecer diferencias entre diferentes municipios en función de su población. De esta forma es posible considerar el impacto que una mayor concentración de la población tiene en el costo de vida, en la distribución de clases de construcciones y en la infraestructura pública. Los niveles de complejidad a emplear se muestran en la Tabla 4-15.

Tabla 4-15 Niveles de complejidad propuestos

Nivel de Complejidad	Población mínima	Población máxima
Bajo	–	20,000
Medio	20,000	100,000
Alto	100,000	–

c) Población vulnerable

La población vulnerable en esta tesis ha sido considerada como aquellos individuos que, en caso de la ocurrencia de un evento, no pueden por sus propios medios hacer frente a los daños causados por el desastre y requieren de

la asistencia de las instituciones para su recuperación. Para determinar el número de personas que conforman este grupo se hace uso de información estadística recopilada en la “Gran Encuesta Integrada de Hogares” (DANE, 2012a), la cual proporciona el porcentaje de población que vive por debajo de la línea de pobreza, a nivel nacional (total, cabeceras y rural), total para 24 departamentos, y total para 23 ciudades principales.

Desafortunadamente, para algunos departamentos no se tiene información (Arauca, Casanare, Putumayo, Archipiélago de San Andrés, Amazonas, Guainía, Guaviare, Vaupés, Vichada), por lo que para estos casos se hará uso del promedio nacional.

Tabla 4-16 Porcentaje de población que vivía bajo la línea de pobreza en 2012.

Departamento		Capital	
Antioquia	26.8	Medellín	17.7
Atlántico	33.9	Barranquilla	30.4
Bogotá D.C.	11.6	Bogotá	11.6
Bolívar	44.2	Cartagena	32.7
Boyacá	35.6	Tunja	18.4
Caldas	35.4	Manizales	17.6
Caquetá	42.1	Florencia	38.5
Cauca	62.1	Popayán	36.1
Cesar	46.8	Valledupar	32.8
Córdoba	60.2	Montería	36.9
Cundinamarca	23.3	-	-
Chocó	68	Quibdó	51.2
Huila	45.4	Neiva	22.8
La Guajira	58.4	Riohacha	45.5
Magdalena	52.3	Santa Marta	36.3
Meta	29.5	Villavicencio	21.6
Nariño	50.8	Pasto	36.8
Norte de Santander	40.4	Cúcuta	32.4
Quindío	38.9	Armenia	39.1
Risaralda	28.4	Pereira	21.9
Santander	20.8	Bucaramanga	10.4
Sucre	51.5	Sincelejo	36.9
Tolima	42.3	Ibagué	21.3
Valle del Cauca	26.9	Cali	23.1
Total Nacional	32.7		

Fuente: DANE 2012a

Para hacer uso de la información disponible para departamentos y capitales departamentales presentada en la Tabla 4-16, fue necesario estimar para cada departamento el índice de pobreza para otras cabeceras municipales y para la población rural. Esta estimación es necesaria ya que las capitales departamentales concentran más del 40% de la población total, a manera de ejemplo, si se considera el caso de Bogotá, se incluirían más de 1'300,000

habitantes bajo la línea de pobreza si se emplea el promedio nacional. En todo caso se conservaron los promedios nacionales disponibles.

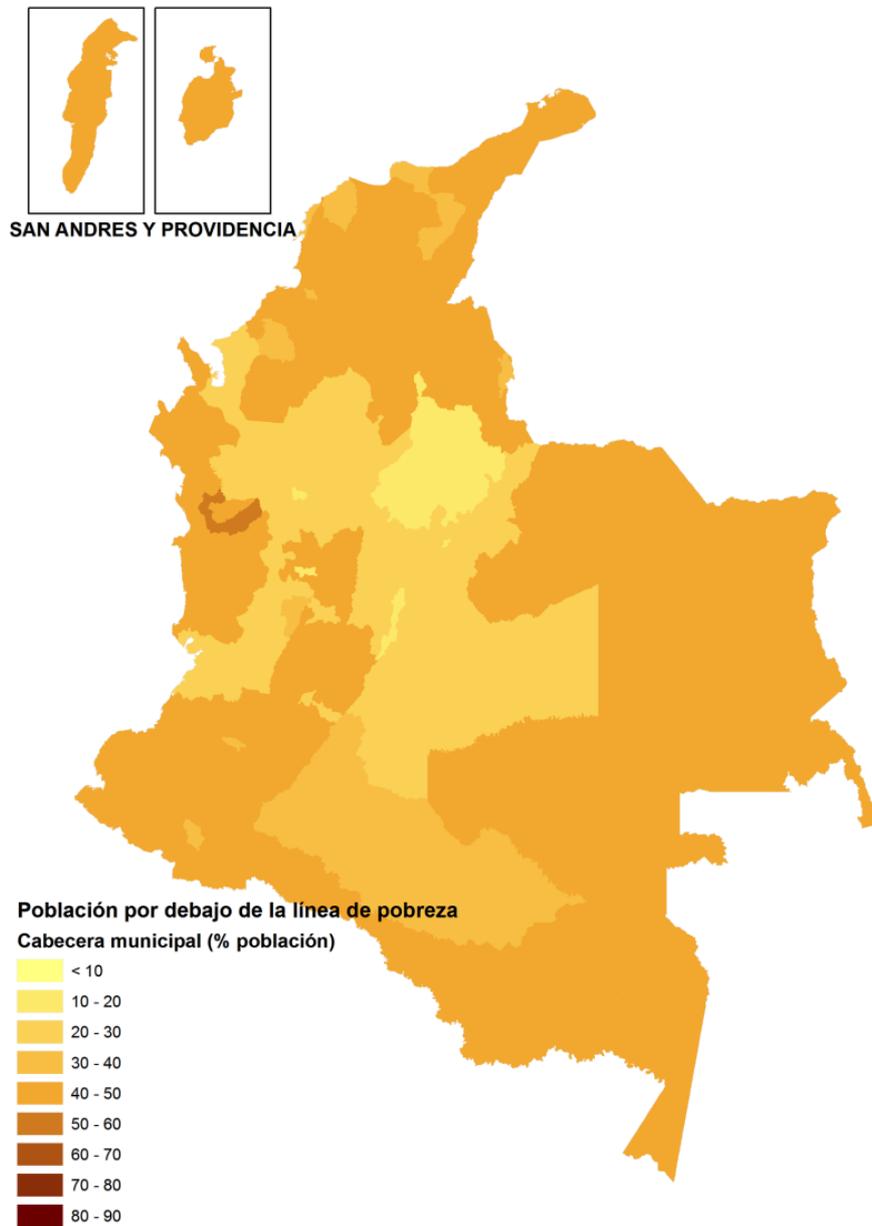


Figura 4-32 Porcentaje de población de las cabeceras municipales que vivía en 2012 bajo la línea de pobreza.

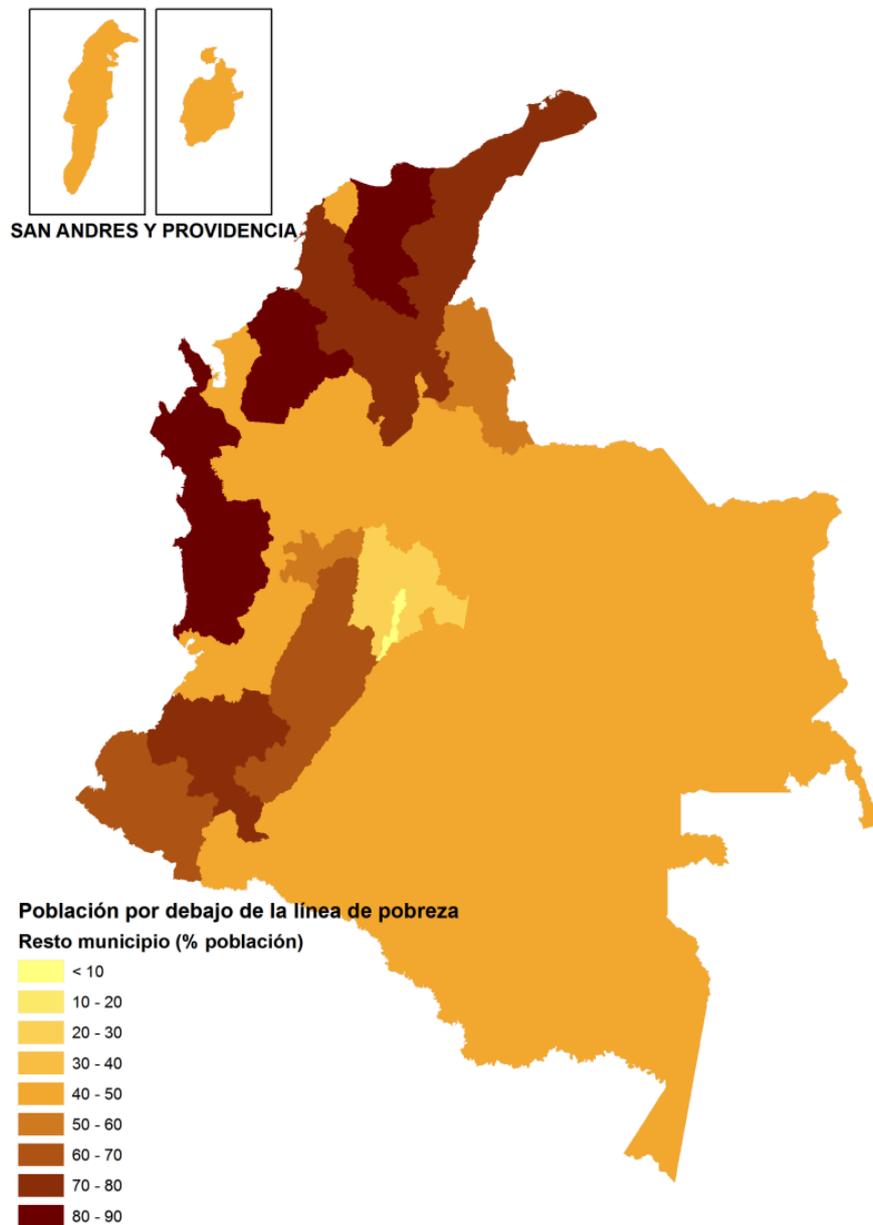


Figura 4-33 Porcentaje de la población del resto del municipio que en 2012 vivía bajo la línea de pobreza.

d) Empleo

Para la estimación del número de empleados se hizo uso de la información reportada en la “Gran Encuesta Integrada de Hogares” (DANE, 2012a), la cual reporta para cada departamento entre otras variables, el porcentaje de la población en edad de trabajar, la población ocupada, desocupada e inactiva. La misma encuesta reporta a nivel nacional y para las principales ciudades

capitales el número de población empleada y el número de empleados del gobierno.

Tabla 4-17 Población ocupada por departamento

Departamento	Población Ocupada [miles]
Antioquia	2,853
Atlántico	1,019
Bogotá, D.C.	3,994
Bolívar	858
Boyacá	550
Caldas	382
Caquetá	162
Cauca	530
Cesar	386
Córdoba	697
Cundinamarca	1,286
Chocó	156
Huila	507
La Guajira	411
Magdalena	476
Meta	395
Nariño	783
Norte de Santander	561
Quindío	234
Risaralda	416
Santander	561
Sucre	342
Tolima	666
Valle del Cauca	2,060
Arauca	26
Casanare	59
Putumayo	14
Archipiélago de San Andrés	27
Amazonas	11
Guainía	5
Guaviare	17
Vaupés	5
Vichada	5

Fuente: DANE 2012a

A nivel regional, se dispone de la desagregación de la tasa general de participación de la población en la economía y de la ocupación entre las cabeceras y la zona rural. Al multiplicar ambas tasas se puede obtener para cada región y para cada sector el porcentaje de la población ocupada con respecto al total.

Tabla 4-18 Porcentaje de la población empleada, por regiones.

	Departamento	Total	Cabecera [%]	Resto [%]
Región Atlántica	Atlántico, Bolívar, César, Córdoba, Sucre, Magdalena, La Guajira.	0.33	0.34	0.30
Región Oriental	Norte de Santander, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Meta.	0.40	0.40	0.38
Región Central	Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima, Huila, Caquetá, Antioquia.	0.35	0.37	0.31
Región Pacífica	Chocó, Cauca, Nariño, Valle.	0.35	0.37	0.33
Bogotá D.C.		0.48	0.48	0.00
Total Nacional		0.38	0.39	0.33

Fuente: DANE 2012a.

e) Empleados públicos

Para la estimación del número de empleados públicos, se complementó la evaluación de empleo anterior con el número de empleados del gobierno, información disponible en la “Gran Encuesta Integrada de Hogares” (DANE, 2012a).

Tabla 4-19 Ocupación y empleados del gobierno, total nacional. Octubre a Diciembre de 2012.

	Ocupados	Empleados del Gobierno	
	[miles]	[miles]	[%]
Total Nacional	21,748	853	3.92%
Cabeceras	16,903	788	4.66%
Resto	4,855	66	1.36%

Fuente: DANE 2012a

Tabla 4-20 Ocupación y empleados del gobierno para las principales áreas urbanas. Octubre a Diciembre de 2012.

		Ocupados [miles]	Empleados del Gobierno [miles]
Antioquia	Medellín A.M.	1,796	57
Atlántico	Barranquilla A.M.	796	26
Bogotá	Bogotá	4,132	183
Bolívar	Cartagena	404	20
Caldas	Manizales	185	11
Córdoba	Montería	158	8
Meta	Villavicencio	197	12
Nariño	Pasto	180	10
Norte de Santander	Cúcuta	367	12
Risaralda	Pereira	268	13
Santander	Bucaramanga	536	17
Tolima	Ibagué	251	17

Valle del cauca	Cali	1,146	32
	Total 13 áreas urbanas	10,415	418

Fuente: DANE 2012a

Tabla 4-21 Total de población ocupada y empleados del gobierno estimados, por departamento

Departamento	Población ocupada			Empleados del gobierno		
	Total	Cabeceras	Resto	Total	Cabeceras	Resto
Antioquia	2,852,826	2,311,683	560,552	111,842	107,768	7,620
Atlántico	1,018,621	1,004,919	41,496	39,934	46,848	564
Bogotá, D.C.	4,002,654	3,994,100	0	156,920	186,201	0
Bolívar	857,528	680,561	180,733	33,619	31,727	2,457
Boyacá	549,926	308,169	238,115	21,559	14,367	3,237
Caldas	382,120	282,956	97,619	14,981	13,191	1,327
Caquetá	162,494	98,852	59,650	6,370	4,608	811
Cauca	529,531	214,417	300,786	20,760	9,996	4,089
Cesar	385,582	293,082	92,659	15,116	13,663	1,260
Córdoba	697,006	377,157	302,025	27,325	17,583	4,106
Cundinamarca	1,277,736	861,434	414,358	50,092	40,159	5,633
Chocó	156,454	78,941	74,681	6,134	3,680	1,015
Huila	506,736	316,483	179,080	19,866	14,754	2,434
La Guajira	410,763	231,942	169,464	16,104	10,813	2,304
Magdalena	475,602	355,604	119,494	18,645	16,578	1,624
Meta	394,682	300,773	94,862	15,473	14,022	1,290
Nariño	782,589	390,365	377,656	30,681	18,198	5,134
Norte de Santander	560,956	443,276	119,745	21,992	20,665	1,628
Quindío	233,763	213,147	25,891	9,164	9,937	352
Risaralda	415,825	337,730	81,046	16,302	15,745	1,102
Santander	862,504	654,084	210,361	33,814	30,493	2,860
Sucre	341,942	233,383	105,553	13,405	10,880	1,435
Tolima	665,667	470,387	189,090	26,097	21,929	2,571
Valle del Cauca	2,060,082	1,847,789	247,702	80,763	86,142	3,367
Arauca	90,384	58,530	29,842	3,543	2,729	406
Casanare	168,842	127,846	40,124	6,619	5,960	545
Putumayo	144,687	71,453	66,542	5,672	3,331	905
Archipiélago de San Andrés	39,196	29,251	9,676	1,537	1,364	132
Amazonas	32,424	12,649	17,750	1,271	590	241
Guainía	15,233	4,884	9,232	597	228	126
Guaviare	42,487	25,134	16,036	1,666	1,172	218
Vaupés	13,419	5,269	7,317	526	246	99
Vichada	26,169	11,442	13,285	1,026	533	181
	21,156,433	16,647,692	4,492,424	829,416	776,098	61,071

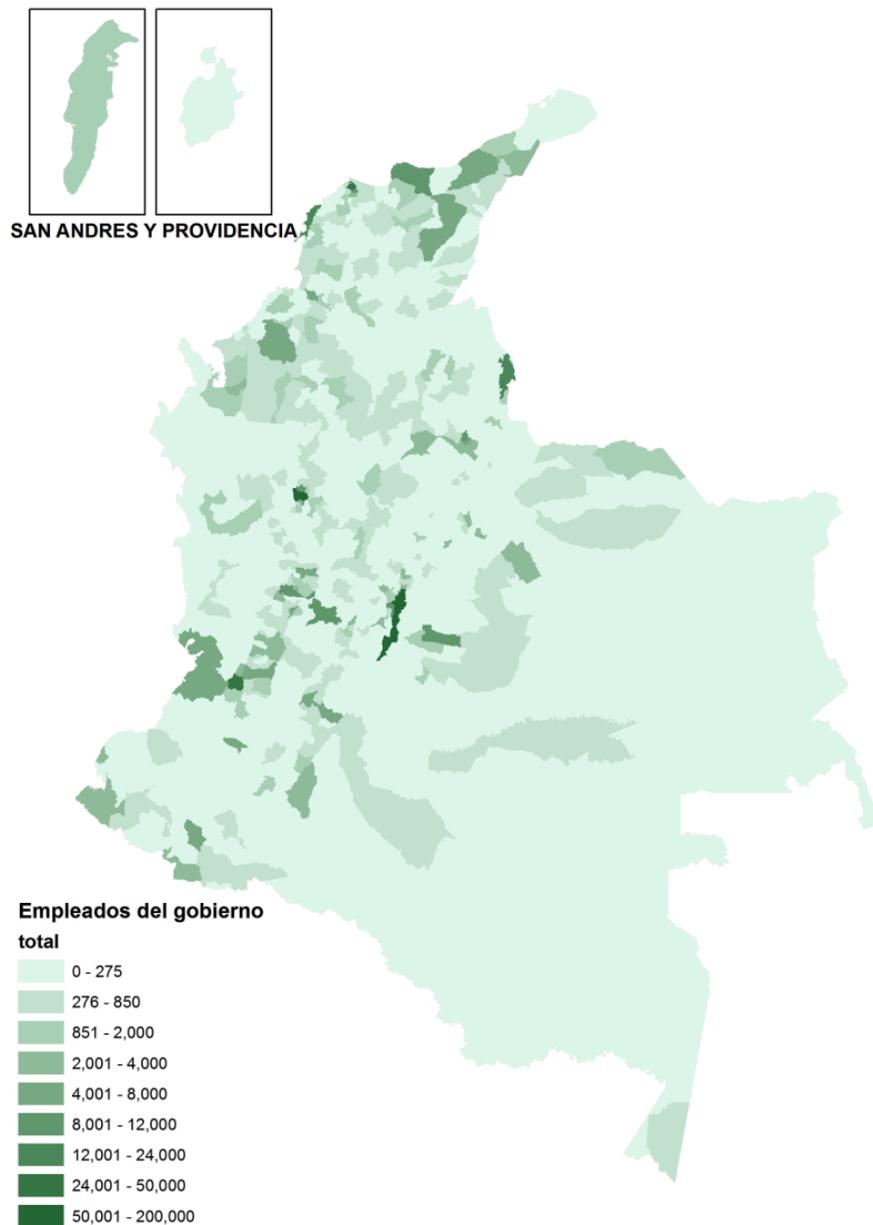


Figura 4-34 Total estimado de empleados del gobierno para las cabeceras municipales

f) Educación

La información disponible en la “Investigación de Educación Formal” (DANE, 2012b) presenta estadísticas de centros educativos, docentes y estudiantes para cada uno de los departamentos de Colombia, como se muestra en las tablas 4-22 y 4-23. Aunque la información disponible no está desagregada de forma más detallada, esta es suficiente para realizar estimativos que se pueden considerar adecuados.

Tabla 4-22 Número de alumnos matriculados por sector – Año 2011.

	Total	Público	Privado	Subsidiada
Antioquia	1,413,234	1,079,088	182,901	151,245
Atlántico	539,940	361,199	137,979	40,762
Bogotá, D.C.	1,484,948	842,791	517,532	124,625
Bolívar	543,485	436,422	76,206	30,857
Boyacá	318,501	275,194	40,524	2,783
Caldas	201,158	179,532	21,603	23
Caquetá	127,531	117,581	6,398	3,552
Cauca	319,434	293,833	24,363	1,238
Cesar	290,860	249,690	40,968	202
Córdoba	448,940	408,595	39,746	599
Cundinamarca	611,155	429,885	153,158	28,112
Chocó	131,972	129,626	2,041	305
Huila	283,671	251,028	32,297	346
La Guajira	203,746	183,471	17,502	2,773
Magdalena	369,135	316,170	51,038	1,927
Meta	227,845	184,934	36,546	6,365
Nariño	374,294	350,390	23,103	801
Norte de Santander	305,529	252,310	51,011	2,208
Quindío	118,570	106,200	12,370	0
Risaralda	209,067	180,496	26,514	2,057
Santander	457,065	361,158	86,914	8,993
Sucre	249,742	218,591	21,238	9,913
Tolima	342,813	292,085	40,215	10,513
Valle del Cauca	988,917	591,858	235,779	161,280
Arauca	60,640	57,165	3,434	41
Casanare	100,033	92,890	7,143	0
Putumayo	84,084	81,592	2,492	0
Archipiélago de San Andrés	12,865	10,125	2,740	0
Amazonas	20,955	20,318	637	0
Guainía	11,177	11,101	76	0
Guaviare	24,226	23,380	846	0
Vaupés	9,016	8,933	83	0
Vichada	18,300	18,168	132	0
Total Nacional	10,902,848	8,415,799	1,895,529	591,520

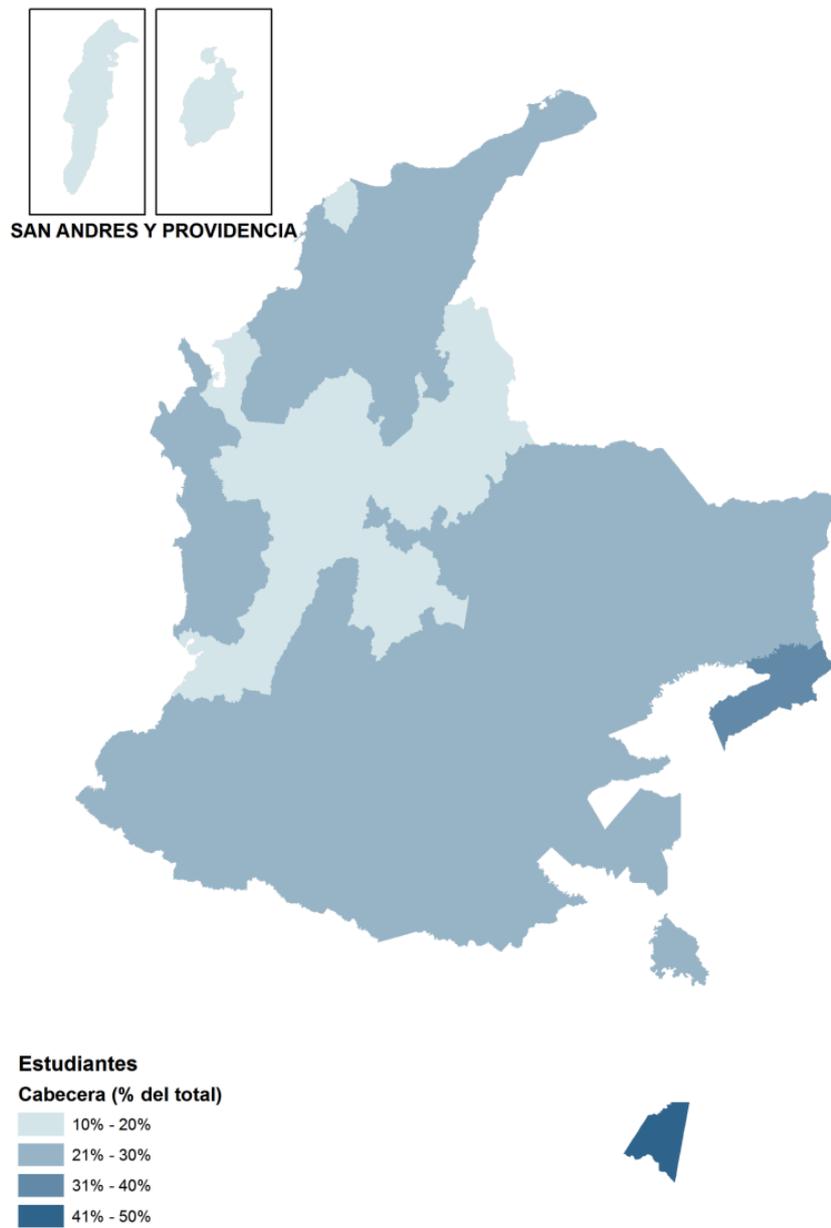
Fuente: DANE 2012b

Tabla 4-23 Número de alumnos matriculados por zona – Año 2011.

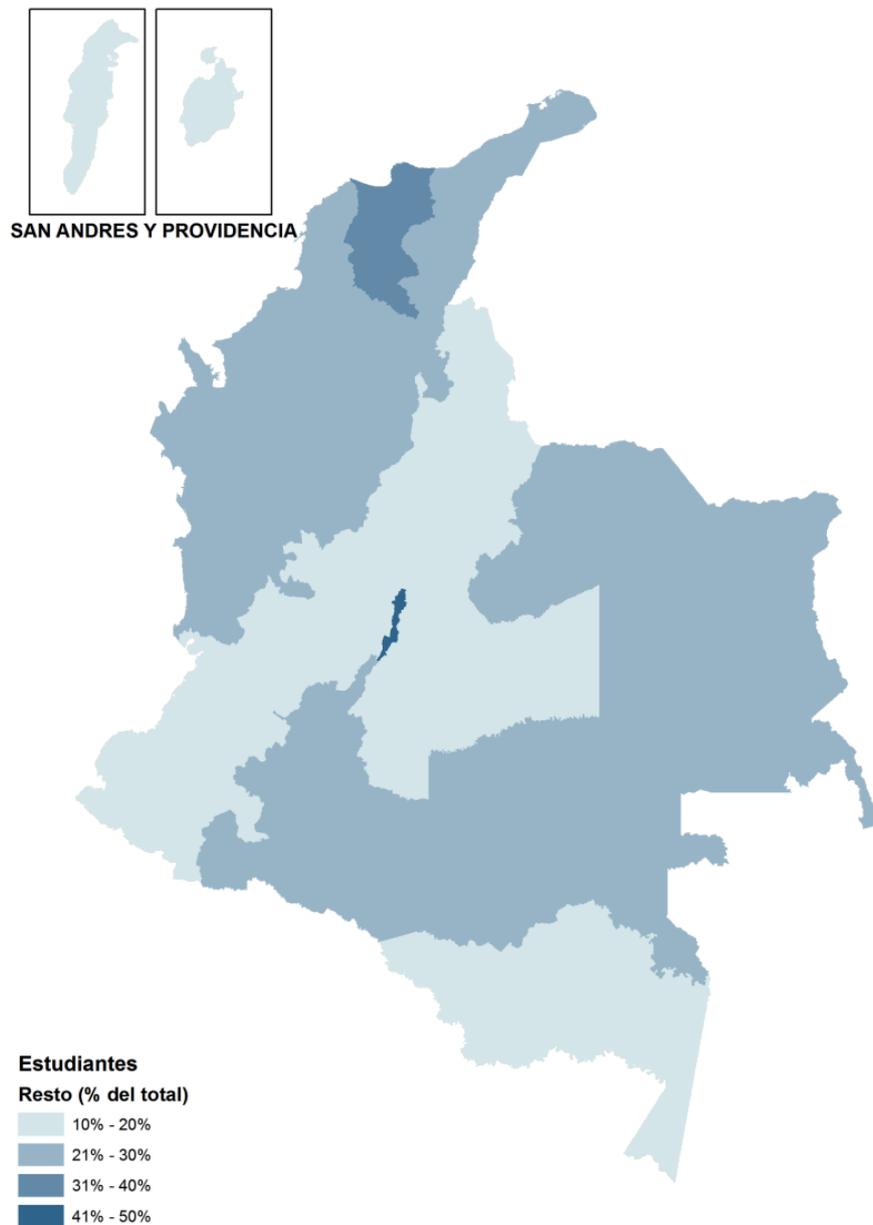
	Total	Urbano	Rural
Antioquia	1,413,234	1,052,632	360,602
Atlántico	539,940	510,602	29,338
Bogotá, D.C.	1,484,948	1,474,879	10,069
Bolívar	543,485	403,725	139,760
Boyacá	318,501	225,934	92,567
Caldas	201,158	144,662	56,496
Caquetá	127,531	71,982	55,549
Cauca	319,434	149,644	169,790
Cesar	290,860	211,003	79,857
Córdoba	448,940	242,970	205,970
Cundinamarca	611,155	439,010	172,145
Chocó	131,972	70,568	61,404
Huila	283,671	177,854	105,817
La Guajira	203,746	116,148	87,598
Magdalena	369,135	245,536	123,599
Meta	227,845	176,515	51,330
Nariño	374,294	219,206	155,088
Norte de Santander	305,529	240,369	65,160
Quindío	118,570	104,859	13,711
Risaralda	209,067	157,113	51,954
Santander	457,065	354,382	102,683
Sucre	249,742	164,876	84,866
Tolima	342,813	242,772	100,041
Valle del Cauca	988,917	842,950	145,967
Arauca	60,640	39,576	21,064
Casanare	100,033	72,445	27,588
Putumayo	84,084	48,021	36,063
Archipiélago de San Andrés	12,865	9,092	3,773
Amazonas	20,955	11,477	9,478
Guainía	11,177	3,883	7,294
Guaviare	24,226	13,547	10,679
Vaupés	9,016	3,514	5,502
Vichada	18,300	7,043	11,257
Total Nacional	10,902,848	8,248,789	2,654,059

Fuente: DANE 2012b

Otro tipo de tablas disponibles, pero que no fueron usadas fue el número de establecimientos educativos por sector y el número de establecimientos educativos por zona. Esta información no fue empleada, ya que si bien se puede establecer un número de establecimientos para cada municipio, no hay una forma confiable de estimar su tamaño y su costo de reposición. Se considera un mejor proxy, el número de estudiantes.



*Figura 4-35 Estudiantes de escuela pública en la cabecera municipal.
Porcentaje del total de la población de la cabecera municipal.*



*Figura 4-36 Estudiantes de escuela pública en el resto del municipio.
Porcentaje del total de la población del resto del municipio.*

g) Salud

Para definir el área de instituciones prestadoras de salud se usa como indicador el número total de camas hospitalarias por cada mil habitantes. Esta información se encuentra disponible por departamento para el año 2010 y se presenta en la Tabla 4-24, la cual fue obtenida de la Asociación Colombiana de Hospitales y Clínicas (ACHC). Para los años 2011 y 2012, se dispone únicamente

del promedio nacional el cual es respectivamente de 1.4 y 1.5 camas por cada 1000 habitantes (sistema de indicadores del Banco Mundial, 2014).

Tabla 4-24 Camas hospitalarias por departamento – Año 2010.

Departamento	Total Camas	Población	Camas por cada 1 000 habitantes
Antioquia	7,996	6,066,377	1.32
Atlántico	3,668	2,314,447	1.58
Bogotá, D.C.	11,488	7,363,782	1.56
Bolívar	2,603	1,979,781	1.31
Boyacá	1,479	1,267,597	1.17
Caldas	1,970	978,362	2.01
Caquetá	562	447,723	1.26
Cauca	1,096	1,318,983	0.83
Cesar	1,672	966,420	1.73
Córdoba	1,642	1,582,187	1.04
Cundinamarca	3,161	2,477,036	1.28
Chocó	532	476,173	1.12
Huila	1,458	1,083,200	1.35
La Guajira	853	818,695	1.04
Magdalena	2,179	1,201,386	1.81
Meta	1,341	870,876	1.54
Nariño	2,254	1,639,569	1.37
Norte de Santander	1,853	1,297,842	1.43
Quindío	1,175	549,624	2.14
Risaralda	1,616	925,105	1.75
Santander	3,569	2,010,404	1.78
Sucre	1,374	810,650	1.69
Tolima	2,209	1,387,641	1.59
Valle del Cauca	6,631	4,382,939	1.51
Arauca	260	247,541	1.05
Casanare	400	325,596	1.23
Putumayo	338	326,093	1.04
Archipiélago de San Andrés	141	73,320	1.92
Amazonas	124	72,044	1.72
Guainía	45	38,328	1.17
Guaviare	114	103,347	1.10
Vaupés	32	41,534	0.77
Vichada	95	63,603	1.49
Total Nacional	65,930	45,508,205	1.45

Fuente: ACHC, 2010

Desafortunadamente no se pudo encontrar estadísticas que permitieran establecer el porcentaje de centros de salud pertenecientes a los sectores público y privado. Por lo que se propuso igualar dicha proporción a la relación de establecimientos educativos públicos y privados, de la cual se cuenta con información a nivel departamental gracias a estadísticas del DANE (2012b).

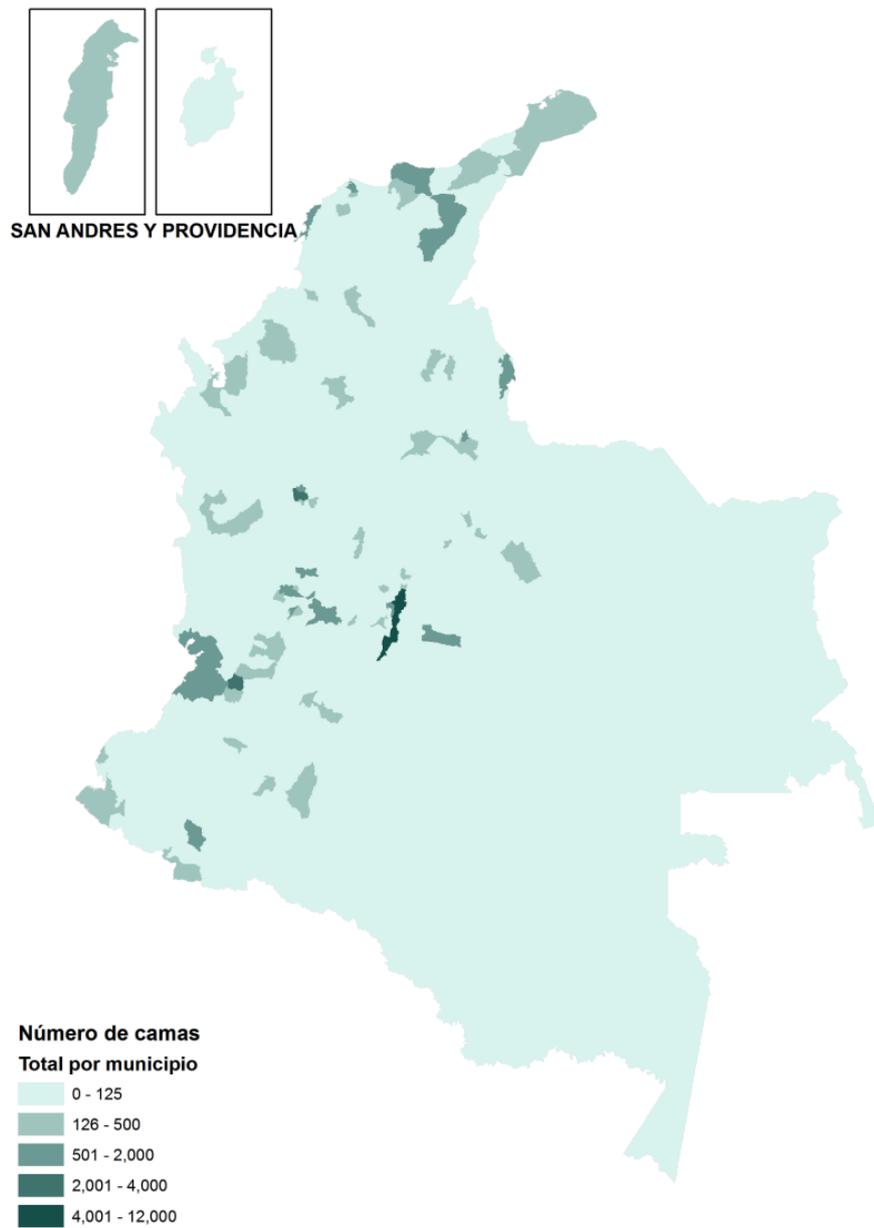


Figura 4-37 Número de camas, total municipal.

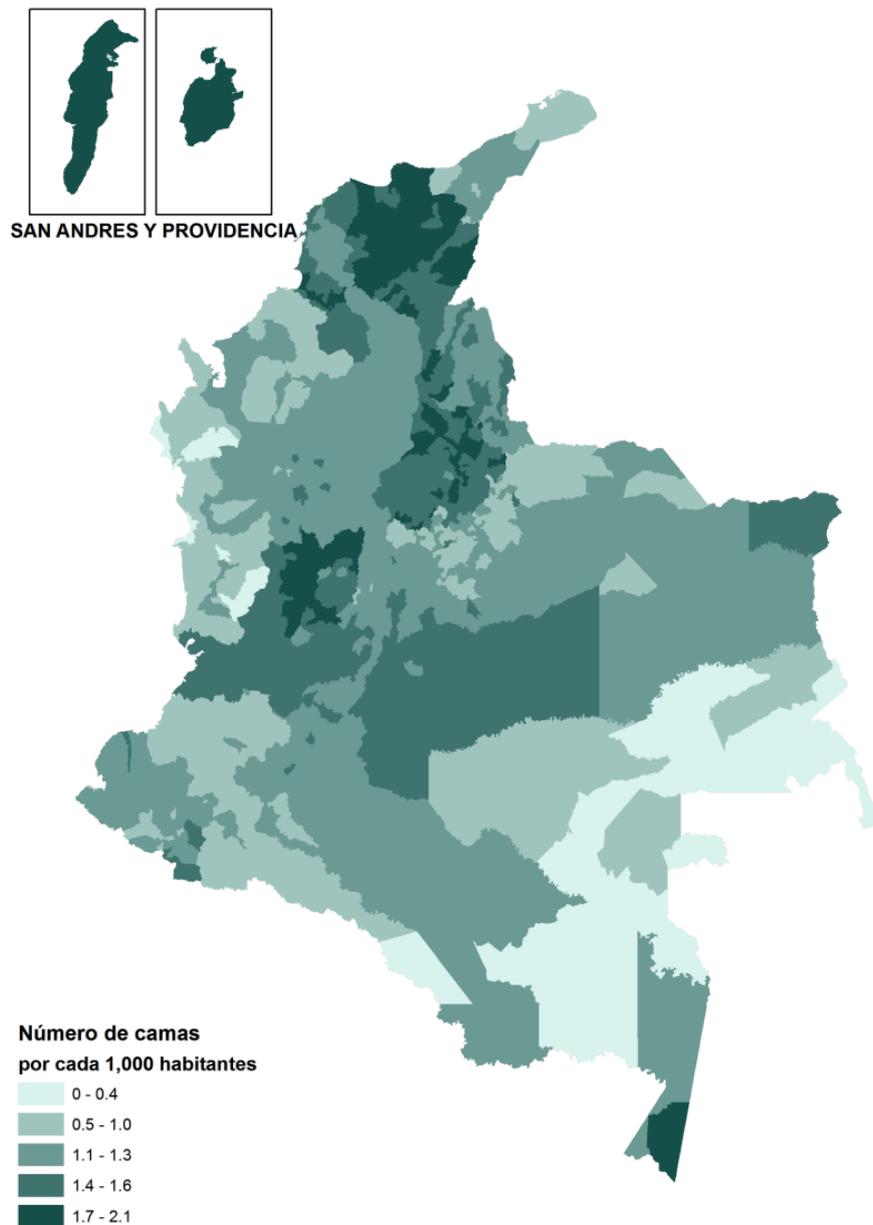


Figura 4-38 Número de camas por cada 1,000 habitantes

h) Área por componente

Para establecer el área construida de cada componente considerado, fue necesario definir una densidad construida para cada uno de estos. La Tabla 4-25 presenta los valores empleados para cada componente y nivel de complejidad, estos valores fueron obtenidos de CIMNE et al. (2011, 2013b).

Tabla 4-25 Valores de densidad constructiva

Complejidad	Densidad			
	Residencial	Educativa	Hospitalaria	Empleados Públicos
	[m2/persona]	[m2/alumno]	[m2/cama]	[m2/ empleado]
Bajo	3	6	4	5
Medio	4	8	6	5
Alto	5	10	8	5

i) Valoración de construcciones

La valoración por metro cuadrado de construcción se basará en el valor del metro cuadrado de vivienda obtenido durante la evaluación de daños del análisis retrospectivo. Dicho valor será asignado a las construcciones de vivienda residencial de los sectores vulnerables que pertenezcan al nivel de complejidad alto, para los otros niveles de complejidad se hará uso de la siguiente tabla.

Tabla 4-26 Corrección del costo de la vivienda en función del nivel de complejidad

Nivel de Complejidad	Corrección
Bajo	0.5
Medio	0.7
Alto	1

Los demás componentes serán valorados empleando un multiplicador respecto al valor unitario de la vivienda del sector vulnerable. Dichos valores fueron obtenidos de multiplicar el factor de la Tabla 4-27 con el valor unitario de la vivienda.

Tabla 4-27 Factor para la valoración de los componentes del proxy

Residencial vulnerable	Salud pública	Educación pública	Gubernamental
1	3.2	2.5	2.5

Los valores presentados en las tablas 4-26 y 4-27 han sido obtenidos de CIMNE et al. (2011, 2013b).

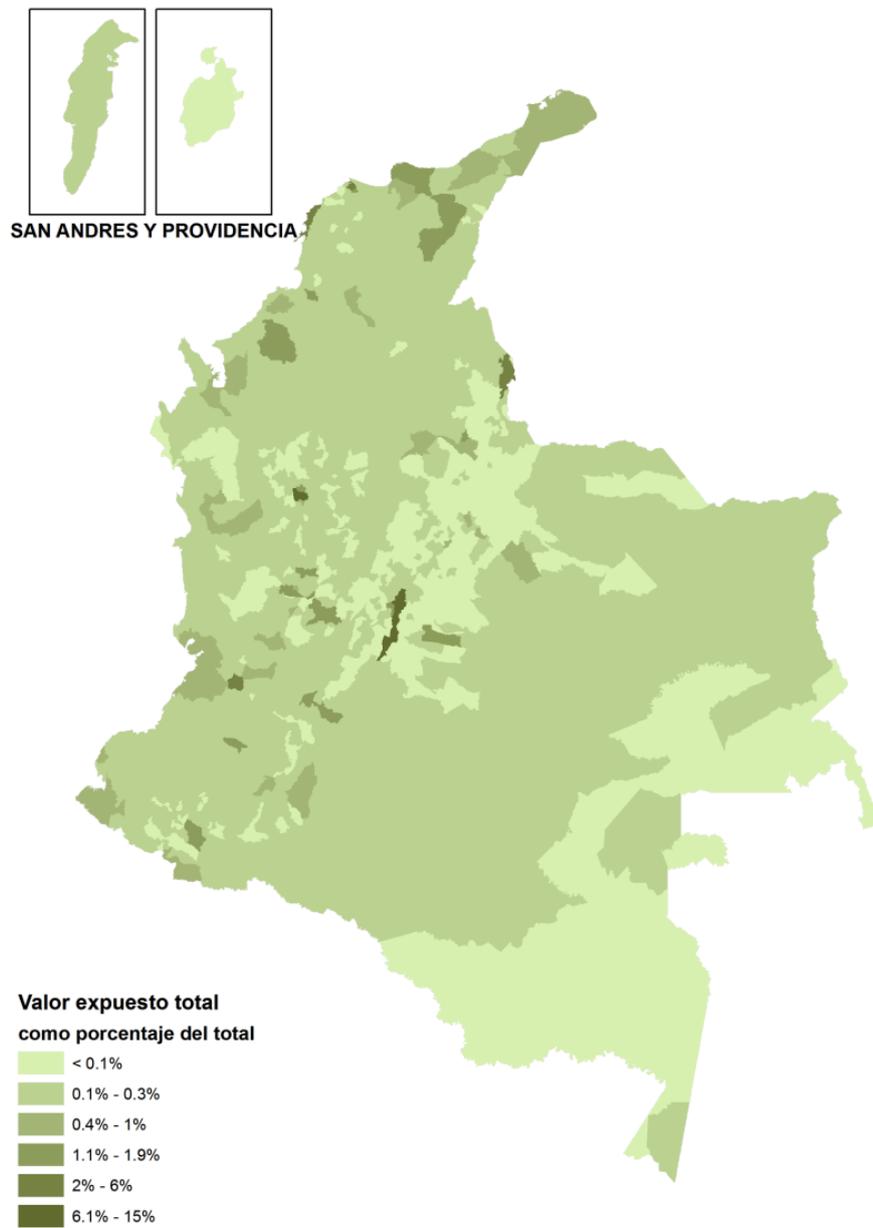


Figura 4-39 Valor expuesto municipal total como fracción del total nacional

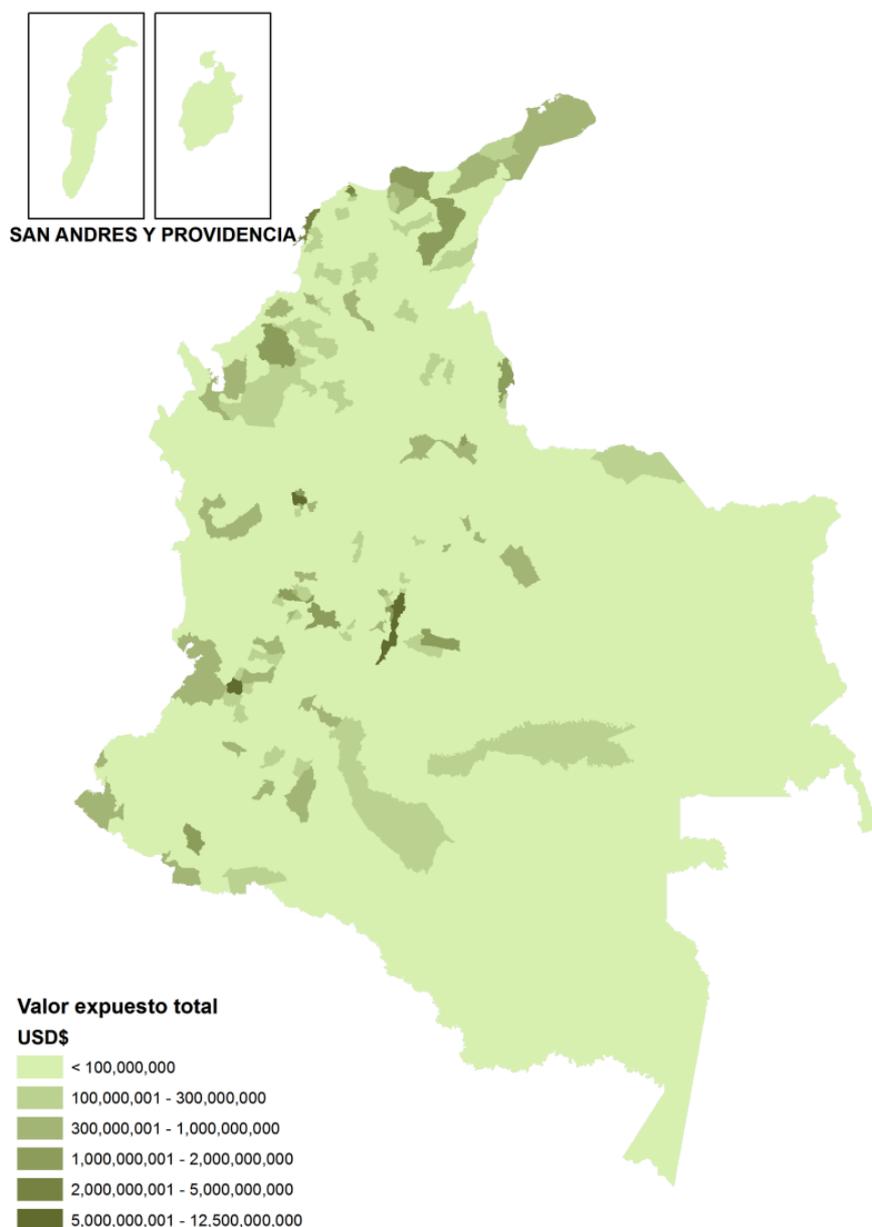


Figura 4-40 Valor expuesto municipal total

A continuación se presenta una breve comparación entre los valores expuestos para Colombia obtenidos de los modelos de exposición global desarrollados para los reportes GAR (CIMNE et al. 2011, 2013b, 2015) y el modelo desarrollado en este capítulo. La Tabla 4-28 presenta los valores obtenidos de los sectores comparables, desafortunadamente no se pudo identificar claramente los valores expuestos correspondientes a empleados públicos en los modelos elaborados para GAR13 y GAR15. La Figura 4-41 muestra la misma información de manera gráfica.

Tabla 4-28 Comparación del valor expuesto por sector

	GAR11 Mill. USD	GAR13 Mill. USD	GAR15 Mill. USD	Tesis Mill. USD
Residencial vulnerable	17,257.72	6,378.00	15,174.11	20,974.64
Centros de salud públicos	177.88	69.00	207.50	449.78
Escuelas públicas	47,053.42	46,607.00	121,670.00	66,134.14
Empleados gubernamentales	2,635.93	*	*	3,664.59
TOTAL (sectores seleccionados)	67,124.95	53,054.00	156,778.00	91,223.15

* No se pudo identificar

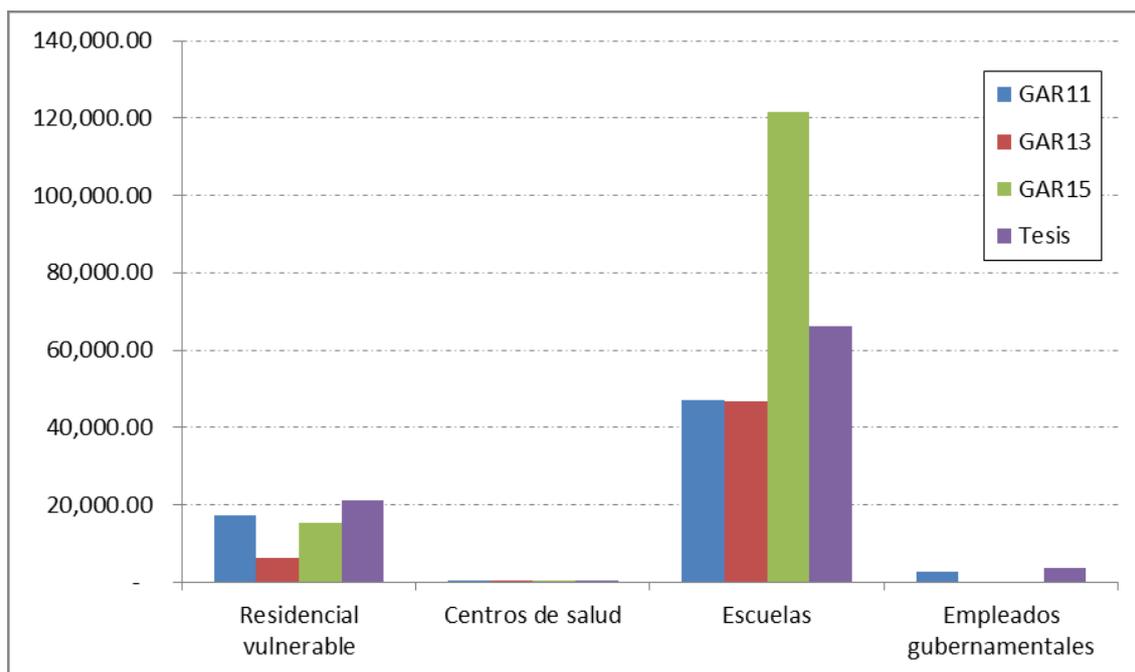


Figura 4-41 Comparación del valor expuesto por sector

Como se puede observar en la Figura 4-41, el modelo de exposición fiscal de Colombia generado en esta tesis, tiene en términos generales, valores similares a los definidos en los modelos globales de exposición elaborados para los informes GAR (UNISDR). Se pueden observar claras diferencias entre los valores totales expuestos entre los modelos GAR y el modelo desarrollado, las cuales se pueden deber entre otros motivos a:

- La diferencia metodológica, el modelo de GAR11 a manera similar a esta tesis toma como insumo inicial los municipios y su población, por el contrario los modelos de GAR13 y GAR15 se basa en un mapa satelital de la población acumulada en cuadrados de 5x5km.
- La definición del número de camas hospitalarias, los modelos GAR asumen valores nacionales, mientras que en el modelo desarrollado se han obtenido valores departamentales oficiales.

- La definición de población vulnerable, es decir, los modelos emplean diferentes indicadores para obtener esta población.
- La valoración económica, ya que para el modelo propuesto se ha hecho uso de valores de elementos expuestos desarrollados para eventos menores, los cuales impactan principalmente poblaciones pequeñas o marginales donde no ha habido un mayor desarrollo de la infraestructura.

4.4.3 Tipologías constructivas

Los tipos de edificaciones a emplear y su correspondiente participación en el stock de construcciones han sido obtenidos de Wyss et al. (2013) y se basan en los sistemas recopilados en el proyecto World Housing Encyclopedia, los cuales se resumen en la Tabla 4-29.

Tabla 4-29 Sistemas constructivos del WHE

Código	Descripción
A	Muros de adobe
C	Concreto reforzado
INF	Construcción informal
M	Muros de barro o lodo
S	Acero
UCB	Mampostería de concreto sin reforzar
UFB	Mampostería sin reforzar
W	Madera

Wyss et al. (2013) provee información relativa a las tipologías constructivas de varios países, entre los cuales se incluye Colombia. La información disponible en dicha referencia emplea también el concepto de complejidad de los asentamientos, aunque en dicho caso, debido a que se trabaja a partir de información de sensores remotos, la complejidad se asigna en función de la concentración de población en áreas cuadradas de 5x5km.

4.4.4 Vulnerabilidad

La caracterización de la vulnerabilidad física se realiza mediante la asignación de funciones que permiten relacionar una intensidad del fenómeno con el daño esperado en cada elemento expuesto (i.e. construcción). Se asignó una función de vulnerabilidad a cada uno de los tipos constructivos característicos, de manera que se pudo evaluar las pérdidas causadas por cada evento que conforma la amenaza sobre cada uno de los elementos que constituyen la base de datos de exposición. Cada función de vulnerabilidad está definida por un valor medio de daño y su varianza, por lo que fue posible estimar su función de

probabilidad respectiva. La varianza da cuenta de la incertidumbre asociada en este proceso del cálculo de riesgo catastrófico.

La estimación de los efectos o del daño se mide en términos de la relación media de daño, RMD, que corresponde a la relación entre el costo esperado de reparación del elemento afectado y el costo de reposición del mismo. La función de vulnerabilidad está definida por la relación entre la RMD, el parámetro de intensidad que caracteriza la amenaza y la desviación de cada uno de los valores de daño. En consecuencia, para cada uno de los eventos a los que estará sometido cada elemento expuesto, en términos probabilistas, tendrá asignado un valor de daño diferente.

Las funciones de vulnerabilidad han sido obtenidas de estudios realizados para el GAR15 (CIMNE & Ingeniar, 2014c). A continuación se presentan únicamente las curvas correspondientes al grupo de construcciones que tienen una mayor exigencia por parte de los códigos de construcciones debido a estar ubicadas en zonas de amenaza alta.

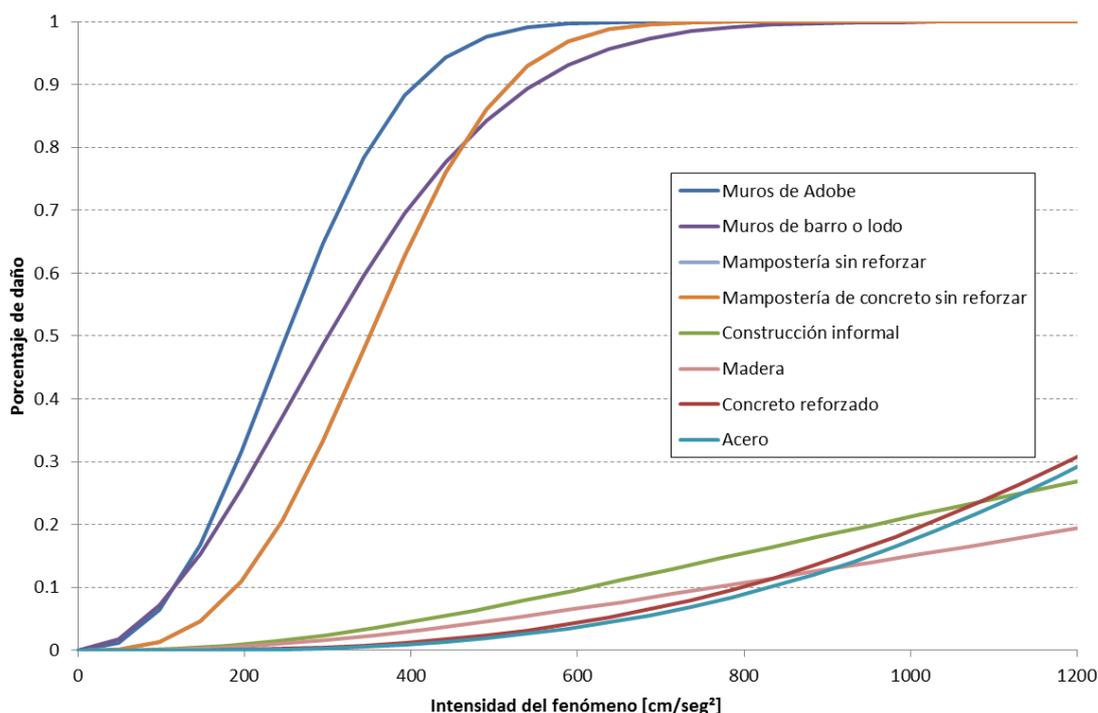


Figura 4-42 Curvas de vulnerabilidad.

Fuente: CIMNE & Ingeniar 2014c

4.4.5 Resultados

Empleando el modelo probabilista de amenaza y el inventario de elementos expuestos previamente desarrollados, es posible calcular en forma probabilista las pérdidas para el sector fiscal definido en esta tesis.

Para obtener desde el punto de vista probabilista las pérdidas que se pueden presentar, se evalúa para cada evento la intensidad del fenómeno en cada una de las edificaciones que conforman el modelo de exposición. Esta intensidad es transformada en daño utilizando las curvas de vulnerabilidad y teniendo en cuenta el valor expuesto del elemento, del cual depende el monto de los recursos necesarios para restaurar (i.e. reparar o reponer) cada edificación. Al desarrollar este proceso para cada evento y para cada elemento expuesto, siguiendo una aritmética apropiada para el tratamiento de las funciones de densidad de probabilidad asociadas a los eventos y la vulnerabilidad, se puede obtener la curva de probabilidad de excedencia de pérdidas respectiva.

Las principales medidas del riesgo que se pueden obtener se describen a continuación:

- **Pérdida Anual Esperada:** La PAE (o en inglés AAL) se calcula como la sumatoria para todos los eventos de la amenaza, del producto entre las pérdidas esperadas para cada evento y la frecuencia de ocurrencia de dicho evento. En términos probabilistas, la AAL es la esperanza matemática de la pérdida anual.
- **Curva de Excedencia de Pérdidas:** La CEP (o en inglés LEC) representa de manera gráfica la frecuencia anual con la cual determinada pérdida económica será igualada o excedida. La LEC se puede calcular a partir del mayor evento probable en un año o de manera uniforme para todos los eventos posibles, en función de su período de retorno. Generalmente se prefiere el segundo enfoque, dado que permite considerar más de un evento catastrófico al año.
- **Pérdida Máxima Probable:** La PMP (o PML en inglés) representa un valor de pérdida para un nivel de excedencia determinada. Dependiendo de la capacidad de un país, región o entidad para la gestión del riesgo, se puede optar por intervenir las pérdidas potenciales hasta la frecuencia que se considere apropiada. Dado que la frecuencia y el periodo de retorno tienen una relación proporcional inversa, la PML se puede expresar también en función del periodo de retorno (aunque se debe hacer la salvedad que esto puede causar confusión en una audiencia no entendida).

En la Tabla 4-30 se presenta el resumen de las pérdidas obtenidas del análisis probabilista. En dicha tabla es posible observar la pérdida anual esperada (o prima bruta de riesgo) en valor y en porcentaje del total del valor de los activos expuestos. Así mismo, se presentan las pérdidas máximas probables (PML) para diferentes frecuencias anuales de eventos, las cuales por conveniencia se expresan usando el periodo de retorno.

Tabla 4-30 Pérdidas económicas esperadas para el portafolio fiscal nacional colombiano

	Valor Millones de USD	Fracción del valor expuesto
Valor Expuesto	\$91,223.15	–
Pérdida anual esperada	\$815.02	8.93 ‰

Pérdida máxima probable		
Periodo de retorno	Pérdida económica Millones de USD	Fracción del valor expuesto
100 años	\$3,794.69	4.16 %
250 años	\$5,212.88	5.71 %
500 años	\$6,171.25	6.77 %
1000 años	\$7,380.39	8.09 %

Debe tenerse en cuenta que las pérdidas obtenidas para los diferentes períodos de retorno corresponden a las pérdidas máximas probables (PML) para todo el inventario de activos evaluado, el cual, en este caso particular corresponde a la exposición fiscal nacional. Estos resultados corresponden a las pérdidas potenciales que tendría el gobierno (nacional, regional y local) por los daños que tendrían que ser cubiertos en caso de un desastre mayor. Considerando que las PML dependen de la dispersión de los activos evaluados, estos valores son susceptibles de cambiar en caso de modelos de exposición más detallados o que incorporen una mayor distribución espacial de los elementos expuestos.

Finalmente, la Figura 4-43 presenta la curva retrospectiva de excedencia de pérdidas (LEC), en la cual se grafican las pérdidas económicas esperadas sobre el conjunto de elementos expuestos contra la frecuencia media anual de ocurrencia de dichos efectos. Se puede observar en el eje vertical izquierdo, la tasa de recurrencia o frecuencia con la cual se espera que las pérdidas económicas (eje horizontal) sean alcanzadas o superadas. Dado que la frecuencia se puede expresar de manera inversa como el periodo de retorno, este se grafica en el eje vertical derecho.

Los reportes globales de riesgo GAR de la oficina ISDR de las Naciones Unidas contienen en sus dos últimas ediciones (2013 y 2015) un análisis global por país del riesgo por desastres catastróficos. La versión 2011 del mismo reporte

contiene el desarrollo metodológico inicial del análisis global, por lo que contiene una muestra mucho más reducida (Colombia, México y Nepal). Al contar con la información de los diferentes estudios GAR (UNISDR 2011, 2013 y 2015) es posible realizar una comparación entre los valores obtenidos en esta tesis y los valores reportados en dichos documentos.

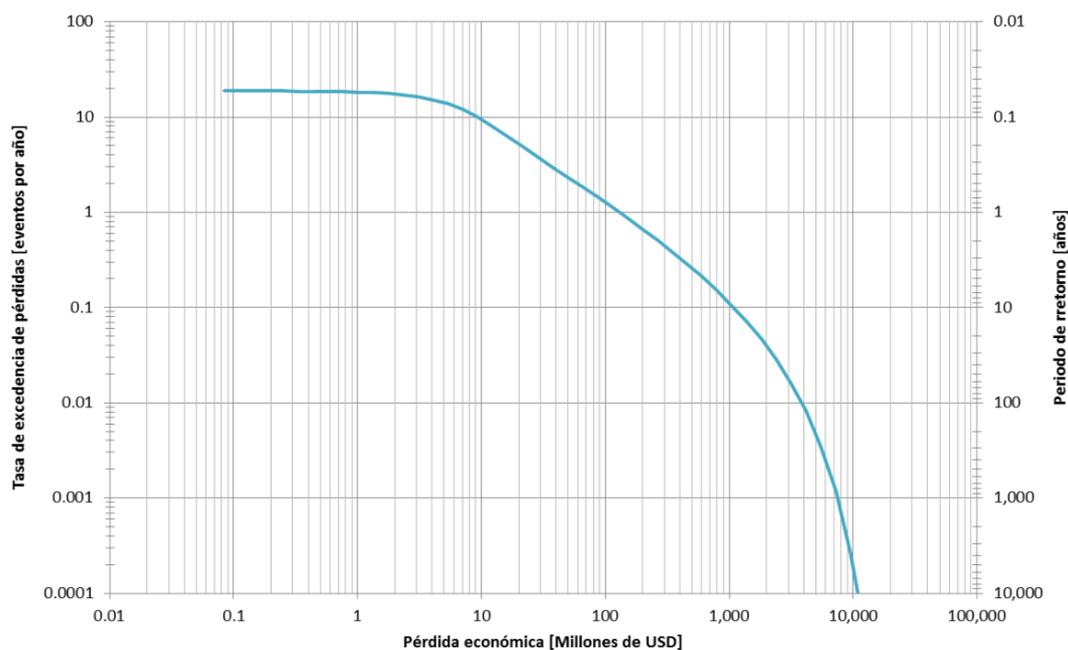


Figura 4-43 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas

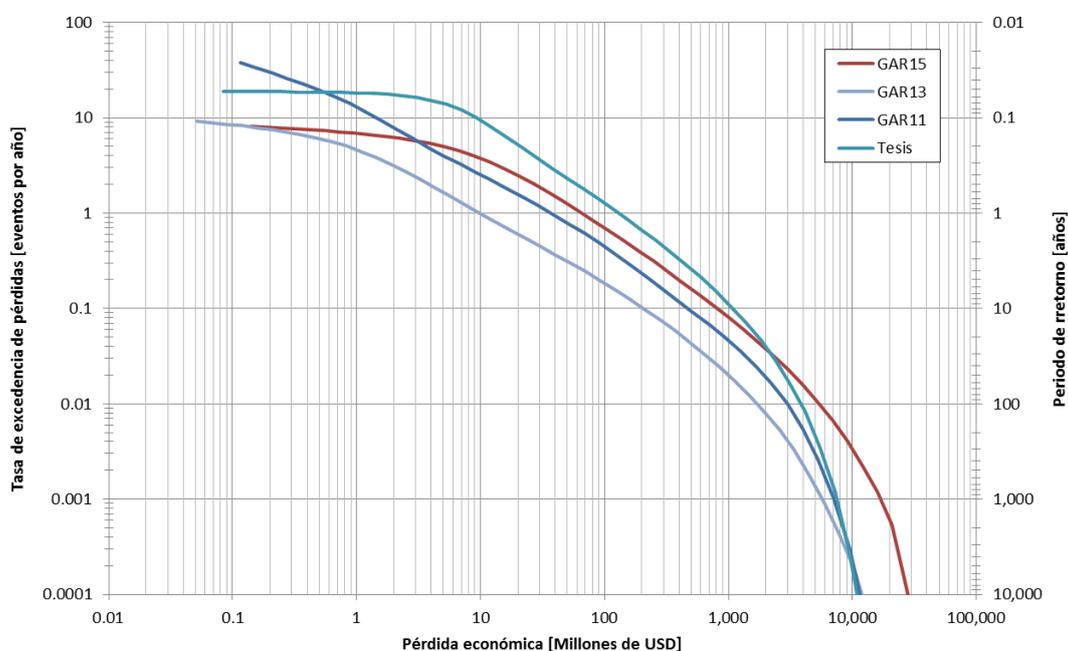


Figura 4-44 Comparación de LEC para el portafolio fiscal de Colombia

En la Figura 4-44 se comparan las diferentes curvas de excedencia de pérdidas. Puede observarse, como la curva obtenida en esta tesis inicialmente está por debajo de los valores del GAR11, pero posteriormente pasa a estar por encima de las demás curvas consideradas. Según esto, en el presente modelo se espera una mayor frecuencia de pérdidas menores (i.e. pérdidas con recurrencia superior a una vez cada 25 años).

La Figura 4-45 muestra las pérdidas máximas probables (PML) de los diferentes documentos. En este caso, se puede observar como el modelo de esta tesis, presenta en general, unos valores de PML menores a los reportes GAR (UNISDR).

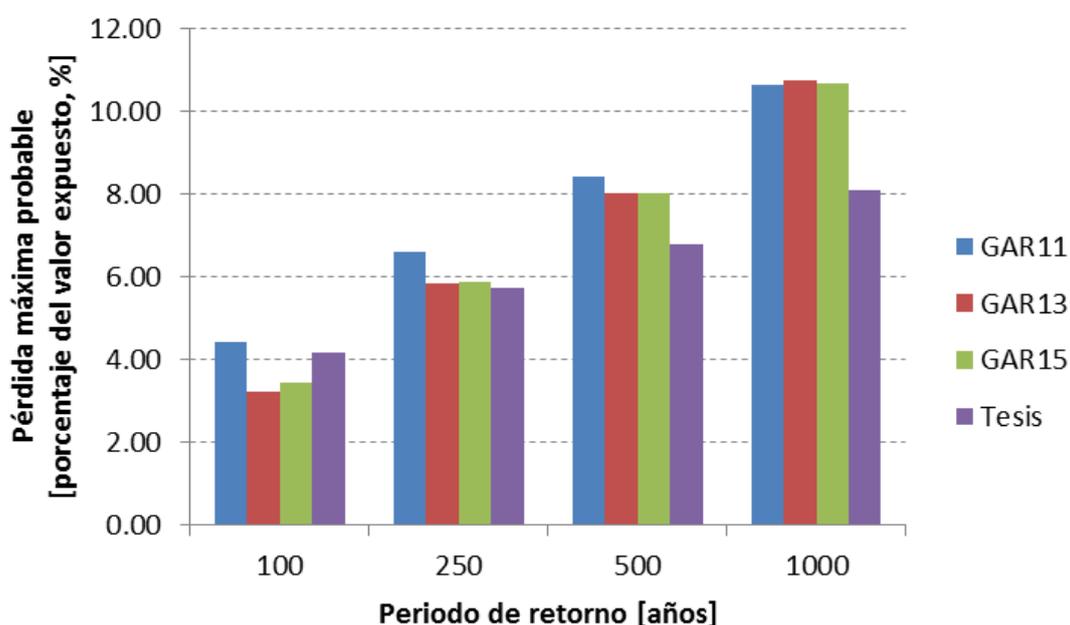


Figura 4-45 Comparación de los valores de PML para el portafolio fiscal de Colombia

En la Figura 4-46 se comparan las pérdidas anuales esperadas (AAL) de los diferentes modelos. Puede verse como el presente modelo, a pesar de tener valores de PML inferiores (Figura 4-45), tiene un valor muy superior de AAL a los valores reportados en los informes GAR. Lo anterior puede explicarse por las mayores pérdidas causadas por eventos “menores” (en este caso, eventos con periodo de retorno de menos de 20 años). Esta diferencia puede ser causada por el mayor valor expuesto y por la baja dispersión espacial de los elementos expuestos; se excluye la vulnerabilidad de las causas, debido a que se hace uso de la misma vulnerabilidad empleada en el informe GAR15.

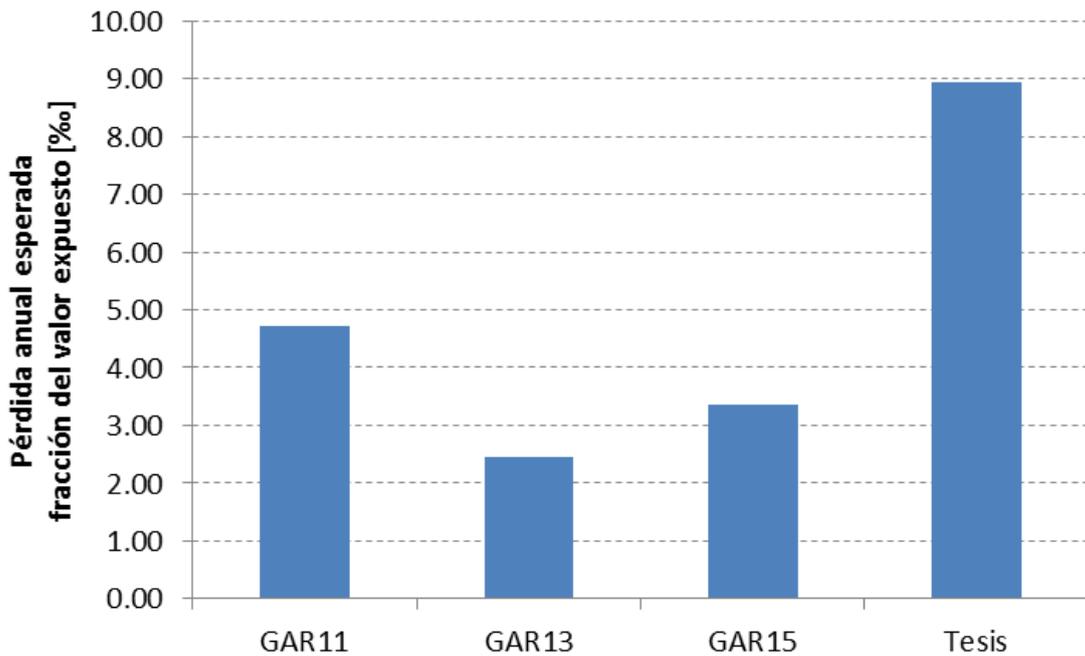


Figura 4-46 Comparación de la AAL para el portafolio fiscal de Colombia

4.5 Evaluación Híbrida del riesgo

En las secciones previas se presentaron dos tipos de análisis de riesgo que se pueden considerar complementarios. A saber:

- Evaluación de riesgo con base en el análisis de eventos históricos registrados utilizando una base de datos de desastres que cubre un periodo de tiempo relativamente corto (42 años) e incluye un gran número de eventos menores con alta frecuencia de ocurrencia y efectos relativamente menores, algunos eventos de efectos intermedios y pocos de gran impacto. Esta evaluación se ha llamado Retrospectiva.
- Evaluación analítica mediante el uso de modelos probabilistas que permiten la estimación del riesgo para eventos intermedios y extremos con niveles variables de incertidumbre. En el presente caso sólo se ha cubierto el análisis por terremoto. Este análisis ha permitido el cálculo de las pérdidas para un portafolio “fiscal” (según se definió previamente) de elementos expuestos. Esta evaluación recibe el nombre de evaluación Prospectiva del riesgo.

4.5.1 Integración de las curvas de excedencia de pérdidas

Los análisis que se presentaron en las secciones previas, se han realizado de manera que los resultados de estos dos tipos de análisis (i.e. retrospectivo y

prospectivo) sean consistentes, lo cual permite su adecuada integración en una curva híbrida de excedencia de pérdidas (HLEC).

Se considera entonces la HLEC, como una representación robusta del riesgo de desastres. Dado que da cuenta de los pequeños eventos, los cuales debido a limitaciones técnicas y de información no pueden ser fácilmente modelados a la escala espacial necesaria. Y, de manera simultánea considera los posibles efectos que los eventos catastróficos pueden tener sobre la exposición actual en caso de presentarse.

La Figura 4-47 muestra de manera simultánea, la curva retrospectiva de pérdidas obtenida junto con varias curvas de excedencia de pérdidas prospectivas disponibles para Colombia. Se incluyen en esta comparación las curvas prospectivas consignadas en los informes GAR (UNISDR 2011, 2013, 2015) y la curva prospectiva obtenida en esta tesis.

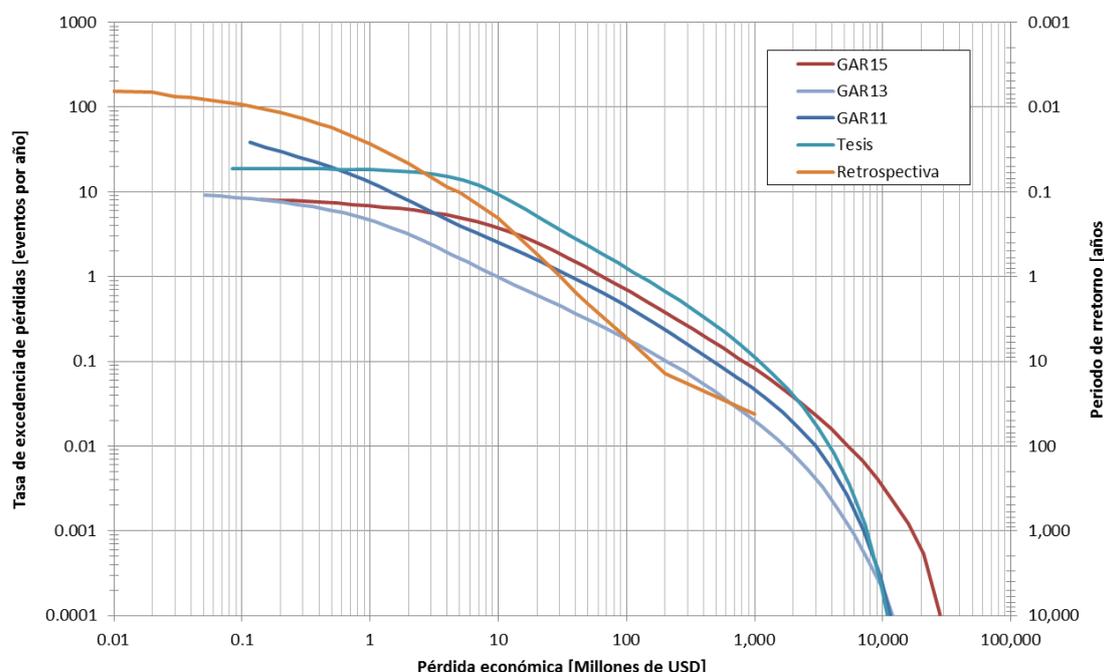


Figura 4-47 Curvas de excedencia de pérdidas retrospectiva, prospectiva y GAR.

En la Figura 4-48 se puede observar la curva híbrida de excedencia de pérdidas generada a partir de los análisis de riesgo realizados en esta tesis, para su obtención se ha efectuado una interpolación de reglas elásticas empleando algunos de los puntos que conforman las curvas base. La curva de excedencia de pérdidas ha sido obtenida bajo el supuesto, que todos los eventos históricos han impactado de manera principal los estratos socio-económicos de bajos ingresos, y que la responsabilidad futura del Estado ante desastres mayores

corresponderá a los inmuebles del sector público y a aquellos de los estratos socio-económicos de bajos ingresos.

El primer segmento de la nueva curva de excedencia corresponde a las pérdidas menores y moderadas obtenidas del análisis empírico/inductivo, o en retrospectiva, y el segundo segmento corresponde al análisis deductivo y predictivo, o en prospectiva, del potencial de pérdidas mayores y extremas. En otras palabras, la metodología propuesta para el análisis del riesgo, permite combinar los efectos causados por los desastres menores, con los posibles efectos que serán causados por futuros desastres catastróficos. La obtención de esta curva híbrida permite visualizar de una mejor manera los diferentes elementos que conforman el riesgo de desastres y su impacto.

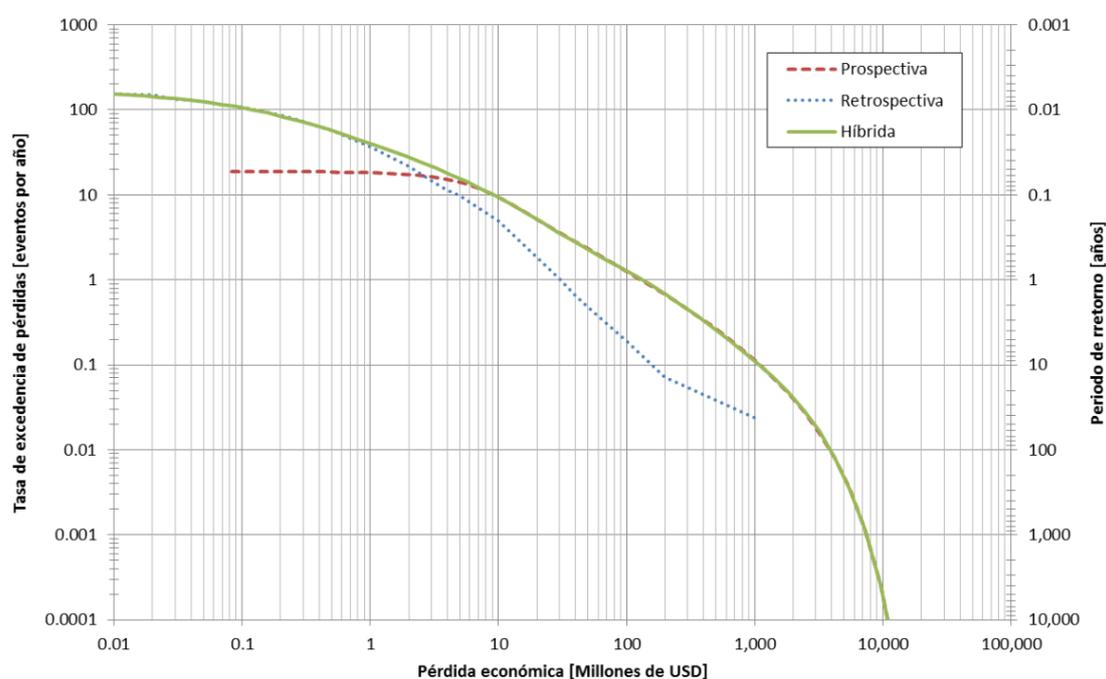


Figura 4-48 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia.

La Tabla 4-31 resume los valores de pérdida anual esperada disponibles de los diferentes estudios realizados para Colombia. Se incluyen los valores de las evaluaciones retrospectivas, de las evaluaciones prospectivas probabilistas y del análisis de la curva híbrida de excedencia de pérdidas.

Tabla 4-31 Pérdidas anuales esperadas para Colombia, según análisis

	Retrospectivo [Millones de USD]	Prospectivo [Millones de USD]	Híbrida [Millones de USD]
GAR11	360	316	490
GAR13	–	130	–
GAR15	–	527	–
Tesis	815	303	900

Se puede observar como el impacto que han tenido los eventos históricos excede el impacto esperado de los eventos catastróficos futuros. Considerando que el análisis retrospectivo busca estudiar los efectos de los desastres menores y frecuentes, se entiende entonces que en este caso particular de estudio, el impacto de los desastres menores es al menos equivalente con el impacto de los futuros desastres catastróficos. Los valores de pérdidas mostrados, reflejan con algo de incertidumbre la destrucción causada por los desastres naturales. Las comunidades afectadas por esta destrucción, en la mayoría de los casos no han recibido el apoyo del gobierno y han debido asumir por si mismas la búsqueda de los recursos necesarios para la reconstrucción, lo cual impide o retrasa su desarrollo y ahonda los problemas de pobreza y desigualdad. Al observar el impacto que han tenido los desastres, en especial los desastres menores, se hace necesaria la búsqueda de estrategias que permitan su adecuada reducción y mitigación.

OTROS CASOS DE ESTUDIO

En esta sección se presentan resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta para diferentes países, según la información disponible en cada caso. Algunos de los resultados que se presentan en este capítulo corresponden a evaluaciones parciales (i.e. solo curva retrospectiva) y otros a evaluaciones que combinan los análisis retrospectivo y prospectivo. Los casos de estudio aquí mostrados han sido desarrollados e incluidos en diferentes informes elaborados para organizaciones multilaterales entre los que se cuentan “Actualización de Indicadores de Gestión y Riesgo” (BID 2014) y los reportes de la Evaluación Global para la Reducción del Riesgo de Desastres - GAR (UNISDR 2011, 2013).

Las evaluaciones retrospectivas fueron realizadas siguiendo la metodología propuesta en esta tesis y empleando la información de desastres históricos recopilada para cada país en la plataforma DesInventar (UNISDR). Para la evaluación prospectiva, se hizo uso de información de estudios del Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres. Es importante resaltar que, los modelos de evaluación prospectiva del riesgo consideran únicamente las amenazas de sismo y/o viento huracanado, y que los resultados aquí mostrados corresponden a la responsabilidad fiscal (de manera similar a como fue definida en esta tesis) de cada Estado.

5.1 Evaluaciones retrospectivas

A continuación se presentan únicamente los resultados de evaluaciones retrospectivas realizadas. Empezando por los resúmenes de 23 países evaluados en el marco del proyecto de cooperación de CIMNE (et al. 2013a) con el informe GAR13, los resultados detallados de este proyecto de cooperación se encuentran en el Anexo 5 (digital). Posteriormente, se presenta el resumen y las curvas retrospectivas de riesgo para varios países de América Latina obtenidas durante el desarrollo del proyecto del BID, se excluyen de estos resultados los países que cuentan con evaluación de curva híbrida, los cuales serán presentados en el numeral siguiente.

En la Tabla 5-1 se compara el costo promedio anual que han tenido los desastres para los países analizados durante el desarrollo del proyecto de cooperación de CIMNE (et al. 2013a). Se muestran las pérdidas anuales promedio tanto en valor, como en porcentaje del producto interno bruto (PIB) y como porcentaje del valor de formación bruta de capital fijo (FBCF).

Tabla 5-1 Resumen del costo promedio anual.

PAÍS	PERÍODO	COSTO TOTAL	Costo Promedio Anual		
			Años	[Mill. USD]	[Mill. USD]
ARGENTINA	40	3,559.0	89.0	0.02	0.09
BOLIVIA	42	252.1	6.0	0.03	0.15
CHILE	42	27,112.5	645.5	0.26	1.21
COSTA RICA	42	600.2	14.3	0.04	0.18
ECUADOR	32	902.9	28.2	0.04	0.17
EL SALVADOR	42	5,369.8	127.9	0.58	4.37
GUATEMALA	24	1,519.2	63.3	0.14	0.93
GUYANA	33	440.0	13.3	0.54	2.04
HONDURAS	38	1,619.9	42.6	0.25	1.05
INDONESIA	40	28,425.4	710.6	0.08	0.26
IRAN	41	7,896.1	192.6	0.04	0.12
JAMAICA	34	945.0	27.8	0.18	0.88
JORDAN	24	53.4	2.2	0.01	0.03
LAOS	16	895.0	55.9	0.71	2.91
MOZAMBIQUE	17	13,894.6	817.3	6.37	25.83
ORISSA	41	36,825.8	898.2	0.05	0.18
PANAMA	26	692.3	26.6	0.09	0.32
PERU	42	7,110.3	169.3	0.10	0.39
SRI LANKA	36	4,587.2	127.4	0.22	0.83
TAMIL	34	33,129.6	974.4	0.06	0.19
VENEZUELA	42	2,174.4	51.8	0.02	0.09
VIETNAM	22	16,102.9	731.9	0.60	1.69
YEMEN	28	578.2	20.6	0.06	0.32

Fuente: CIMNE et al. 2013a

Se presenta a continuación una comparación gráfica del costo promedio anual, en valor (Figura 5-1) y como porcentaje del valor de formación bruta de capital fijo (Figura 5-2).

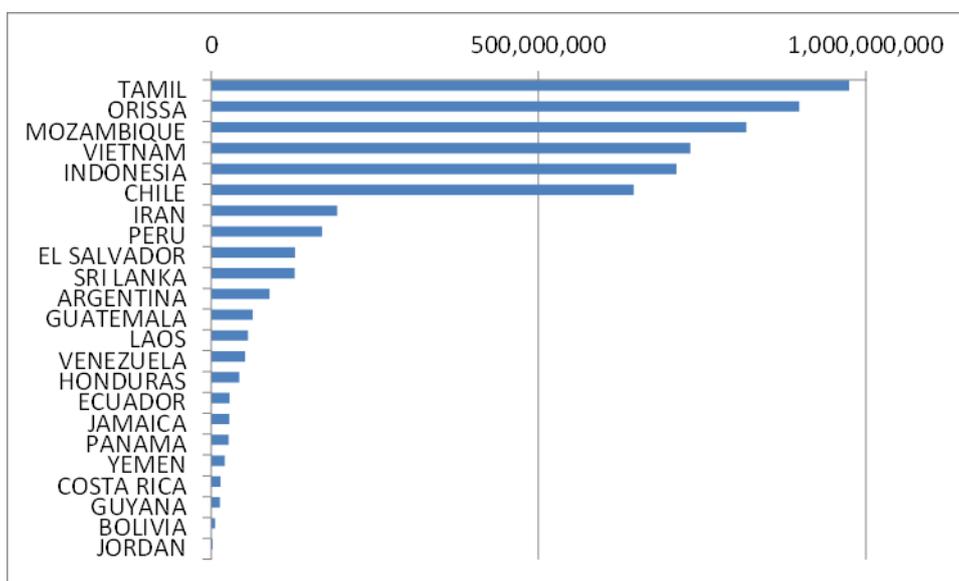


Figura 5-1 Costo promedio anual (USD) para los países analizados en GAR13 (Ordenados de mayor a menor). Fuente CIMNE et al. 2013a

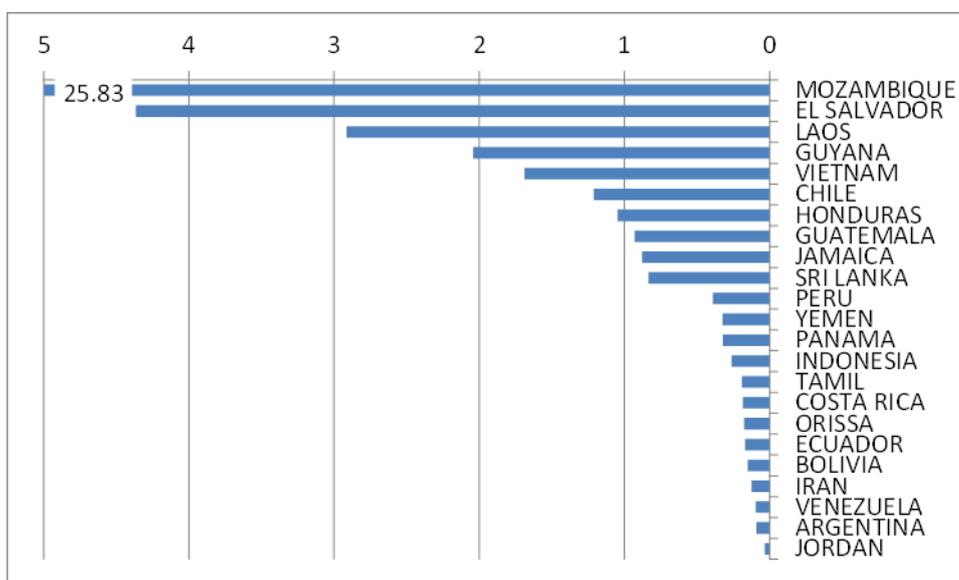


Figura 5-2 Costo promedio anual en porcentaje de la formación bruta de capital fijo de los países analizados en GAR13 (Ordenados de mayor a menor). Fuente CIMNE et al. 2013a

En la Tabla 5-2, se presentan el resumen de las pérdidas anuales esperadas (AAL) para los diferentes países evaluados durante el desarrollo del proyecto “Indicadores de riesgo de desastre...” (CIMNE et al. 2014a) y que cuentan

únicamente con evaluación retrospectiva de riesgo. Así mismo, de la Figura 5-3 a la Figura 5-7, se presentan las curvas de excedencia de pérdidas (LEC) respectivas.

Tabla 5-2 Pérdidas anuales esperadas según análisis retrospectivo.

País	Fuente	Retrospectivo [Millones de USD]
Argentina	BID 2014	70
Chile	BID 2014	672
Jamaica	BID 2014	27
Nicaragua	BID 2014	33
Panamá	BID 2014	27

Fuente: CIMNE et al. 2014a

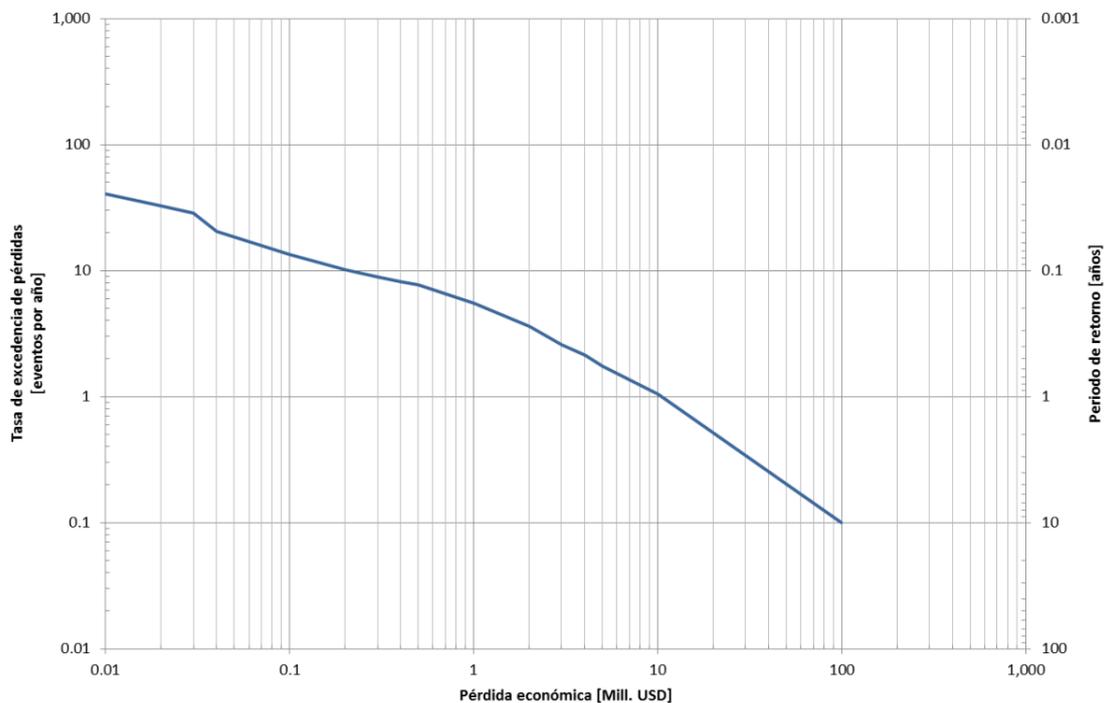


Figura 5-3 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Argentina.

Fuente: CIMNE et al. 2014a

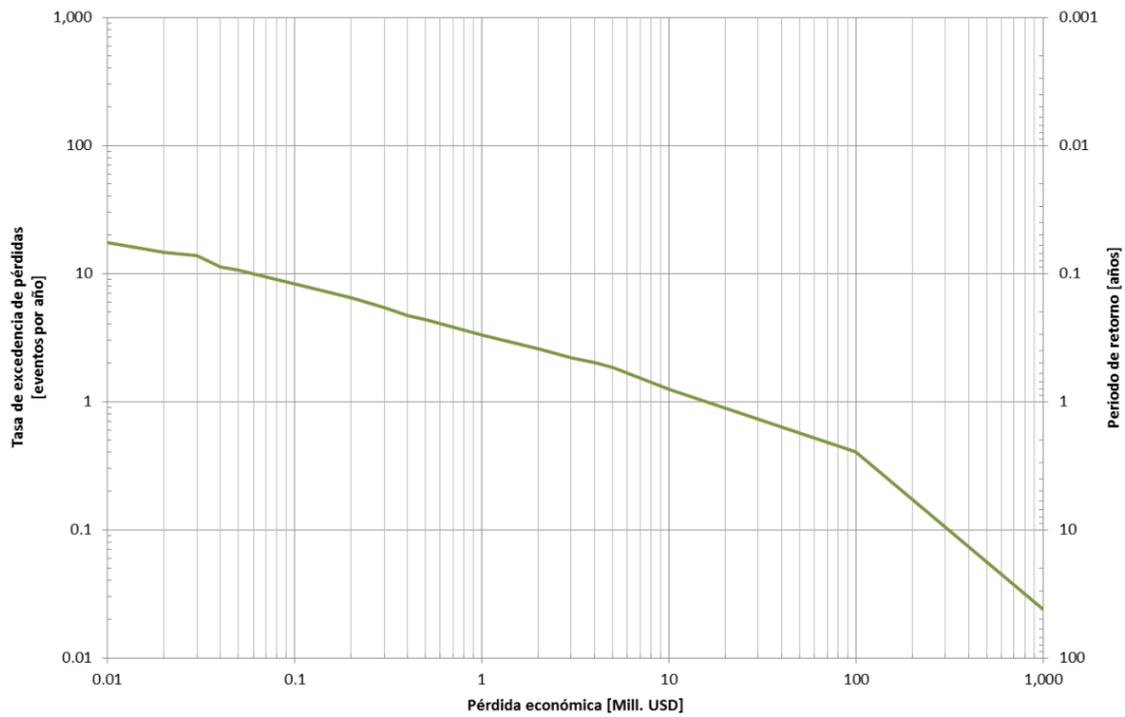


Figura 5-4 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Chile

Fuente: CIMNE et al. 2014a

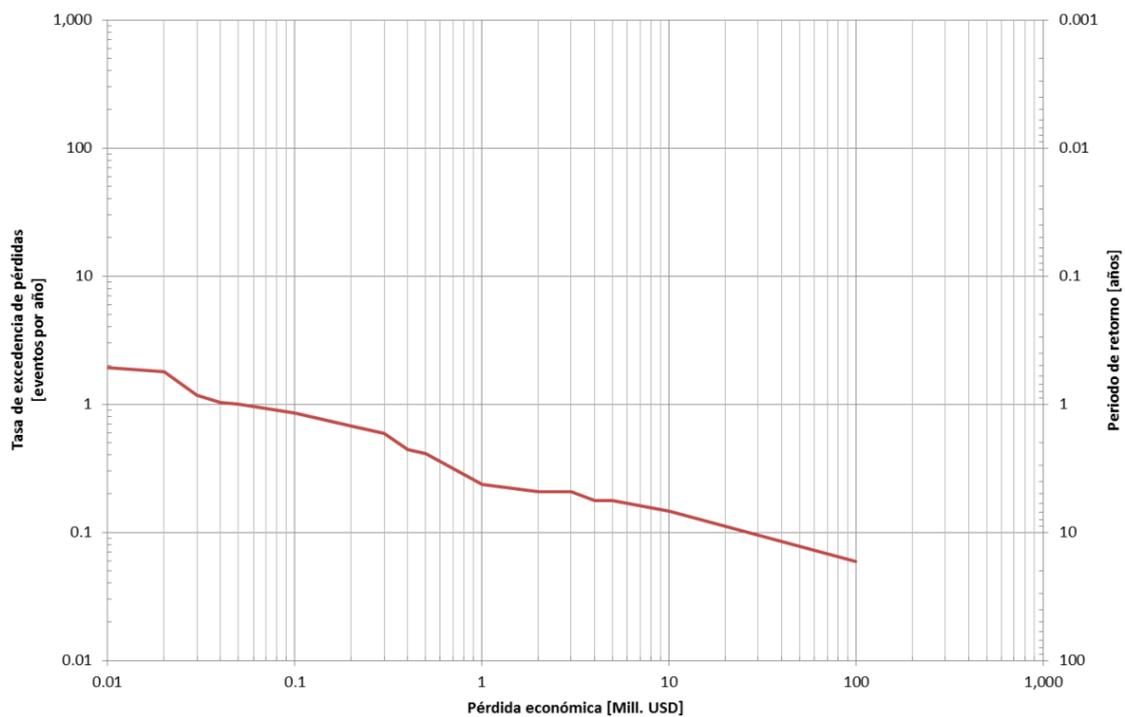


Figura 5-5 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Jamaica

Fuente: CIMNE et al. 2014a

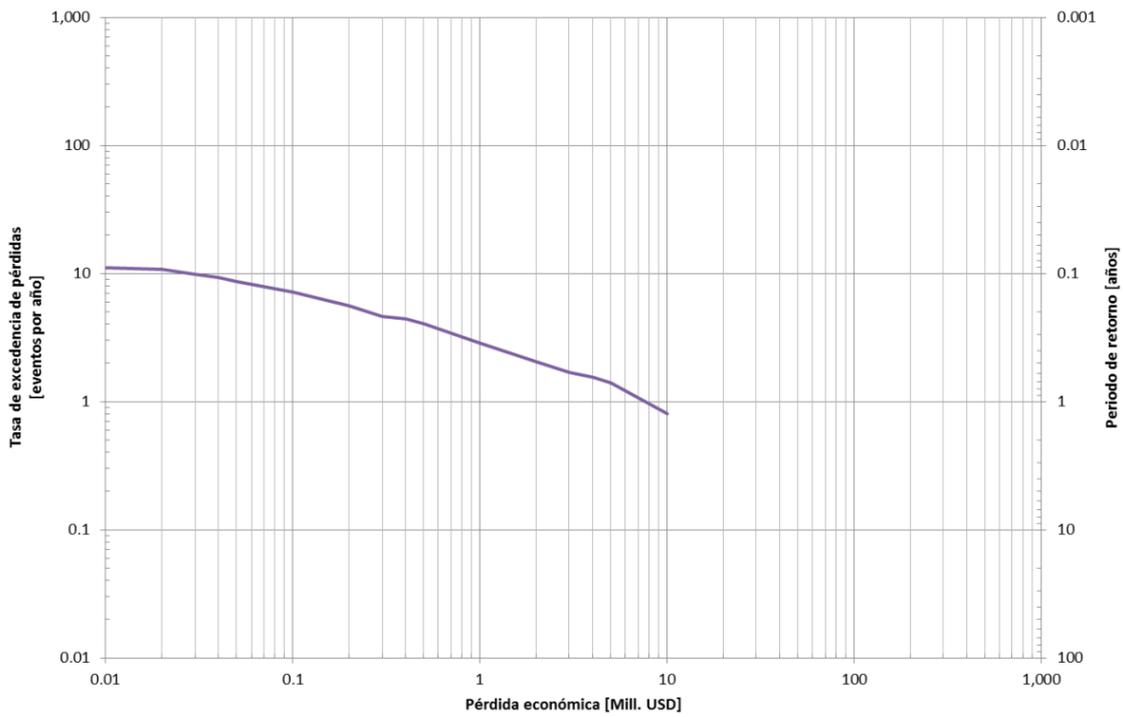


Figura 5-6 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Nicaragua

Fuente: CIMNE et al. 2014a

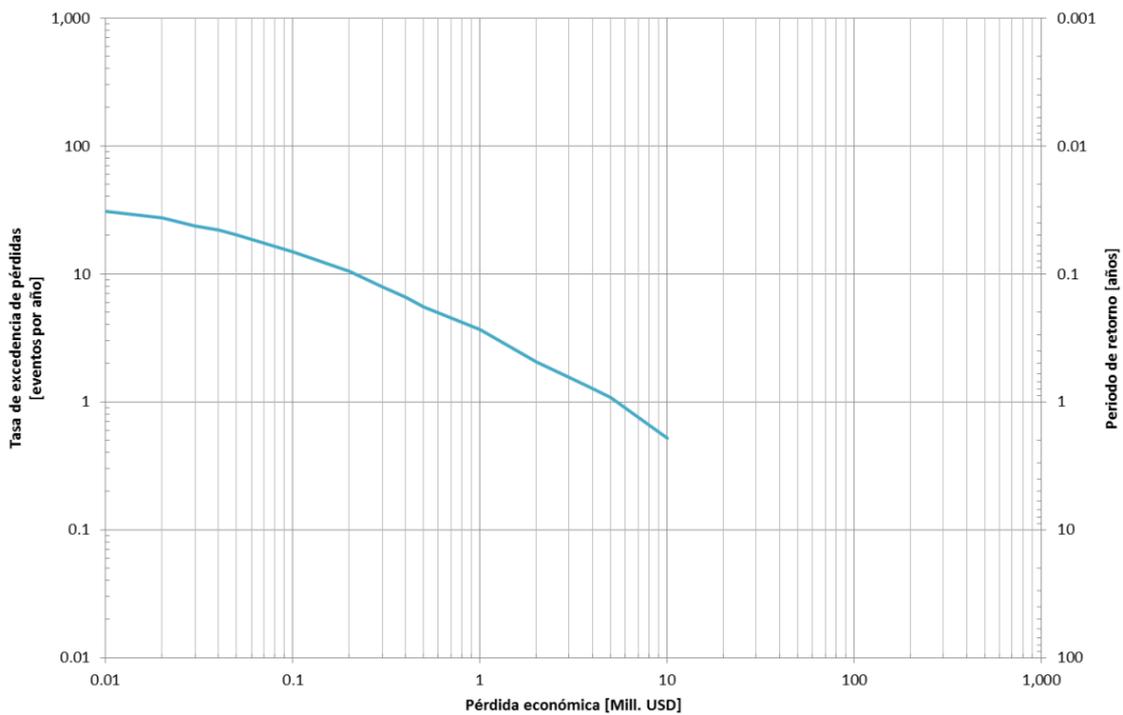


Figura 5-7 Curva retrospectiva de excedencia de pérdidas para Panamá

Fuente: CIMNE et al. 2014a

5.2 Evaluaciones de curva híbrida

La Tabla 5-3, agrupa los diferentes resultados disponibles para los países a los cuales se les pudo realizar la evaluación de curva híbrida. En esta tabla es posible observar las pérdidas anuales esperadas (AAL), para los diferentes análisis que se combinan para obtener la curva híbrida.

Tabla 5-3 Pérdidas anuales esperadas para países con análisis de curva híbrida.

País	Fuente	Retrospectivo [Mill. de USD]	Prospectivo [Mill. de USD]	Híbrida [Mill. de USD]
Bolivia	GAR13	6	64	23
Costa Rica	GAR13	14	58	111
Ecuador	GAR13	29	693	683
El Salvador	GAR13	131	43	44
Guatemala	GAR13	63	181	281
Honduras	GAR13	45	82	86
México	GAR11	2 540	810	2 424
Nepal	GAR11	52	207	235
Perú	GAR13	315	1 110	1 077
Venezuela	GAR13	104	213	250

Fuente: CIMNE et al. 2011, 2013a

Se destacan los resultados obtenidos para El Salvador y México, donde las pérdidas anuales esperadas obtenidas del análisis de curva híbrida son inferiores a las pérdidas obtenidas del análisis retrospectivo. Esto puede explicarse por el hecho que, en ambos casos, las bases de datos no sólo contienen eventos menores, sino que también incluyen eventos catastróficos, pero debido a la naturaleza del análisis retrospectivo, tienen asignada una frecuencia muy superior a la correspondiente en los modelos probabilistas. Frecuencia que es ajustada al combinar los resultados del análisis prospectivo.

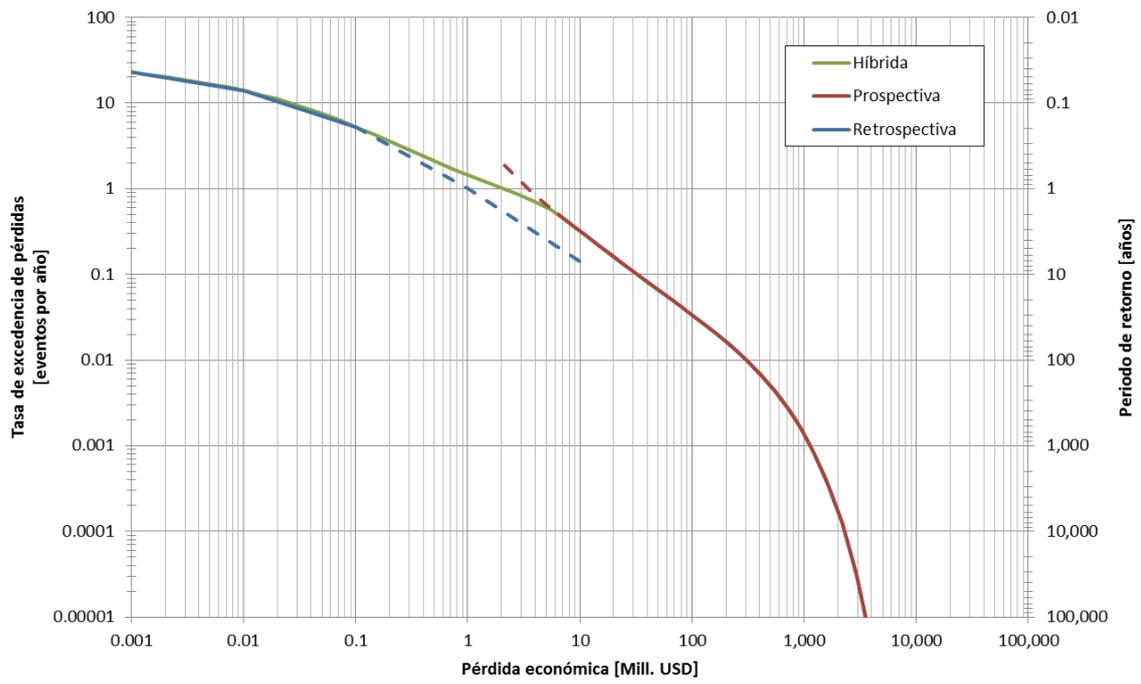


Figura 5-8 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Bolivia

Fuente: CIMNE et al. 2013a

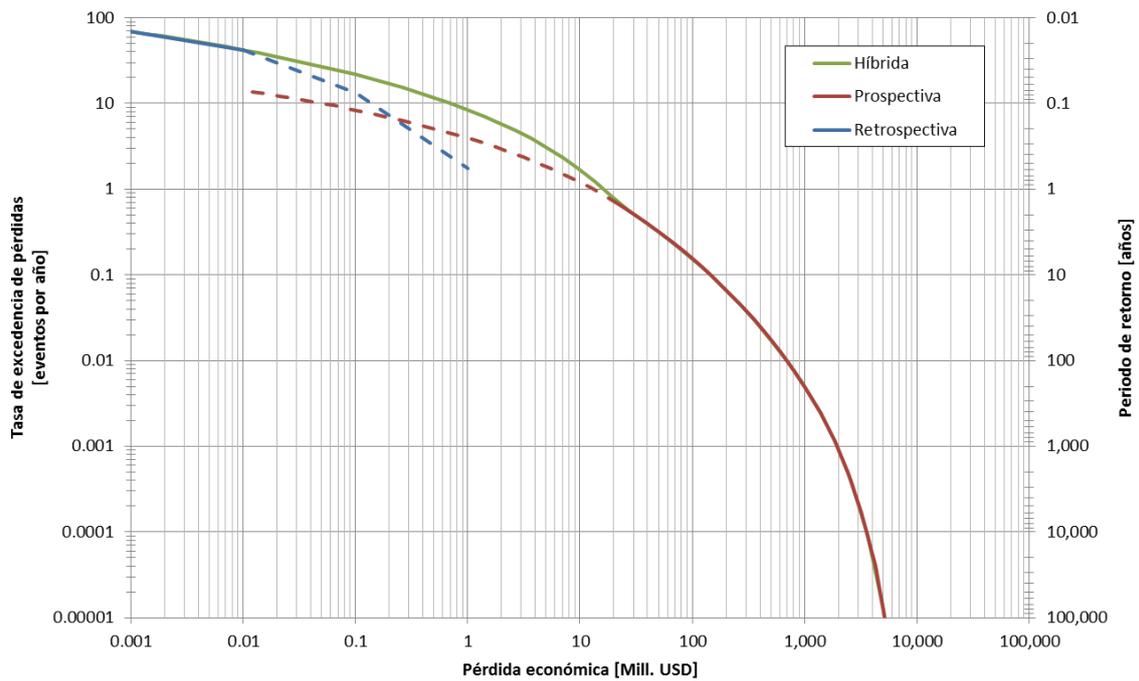


Figura 5-9 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Costa Rica

Fuente: CIMNE et al. 2013a

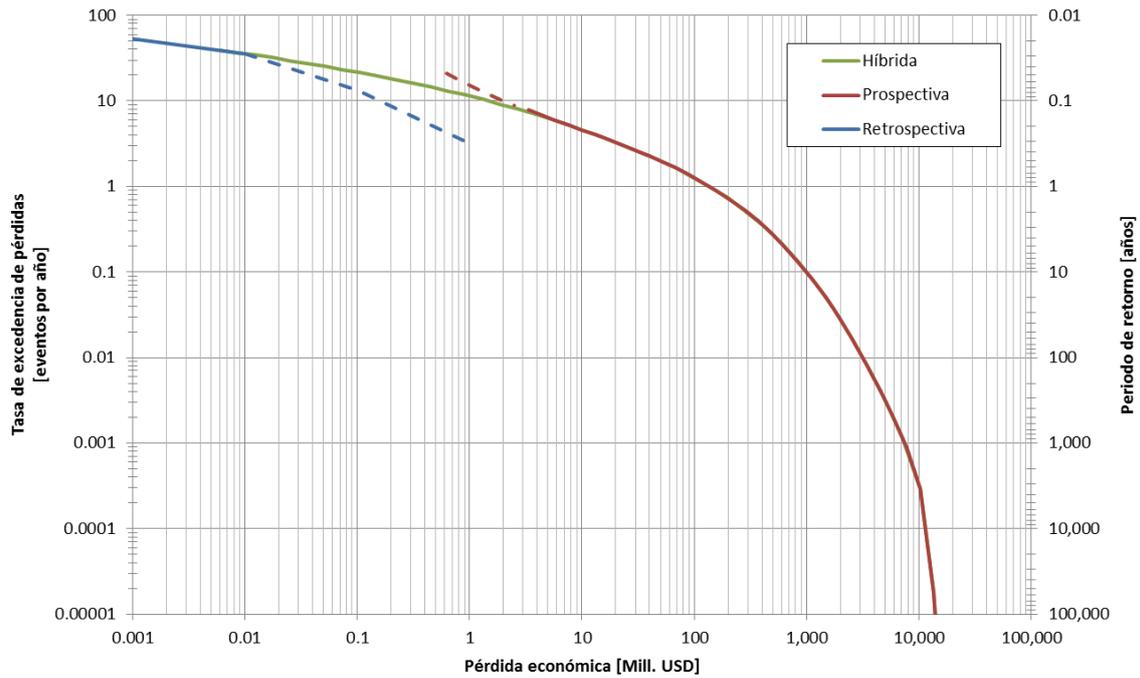


Figura 5-10 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Ecuador

Fuente: CIMNE et al. 2013a

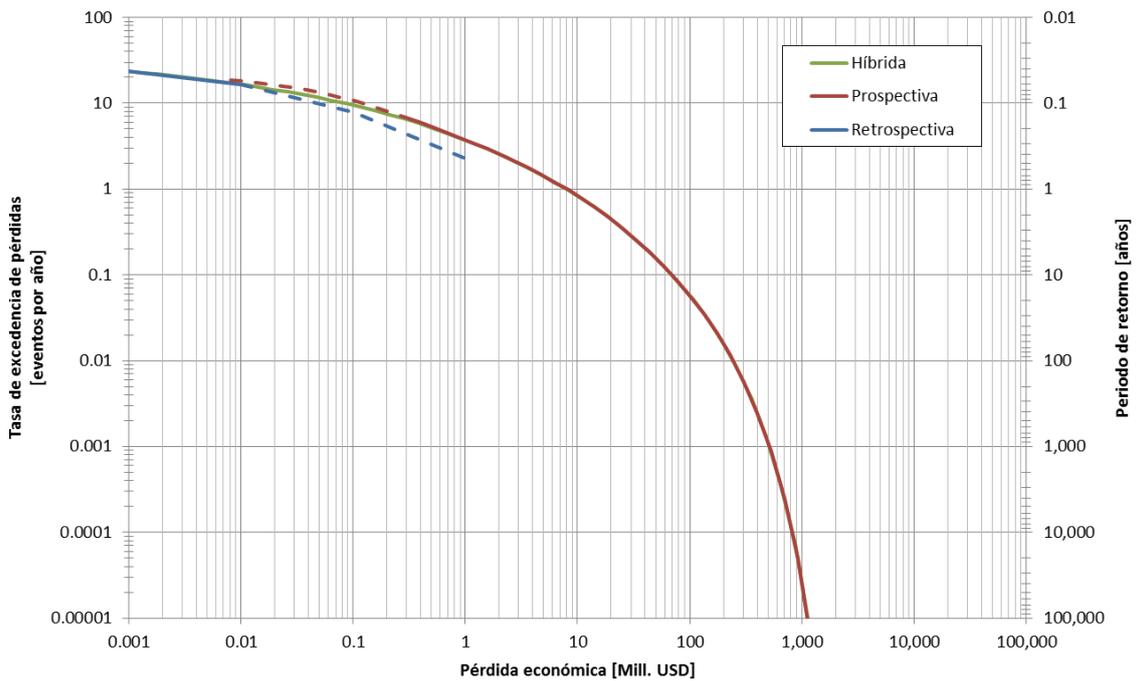


Figura 5-11 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para El Salvador

Fuente: CIMNE et al. 2013a

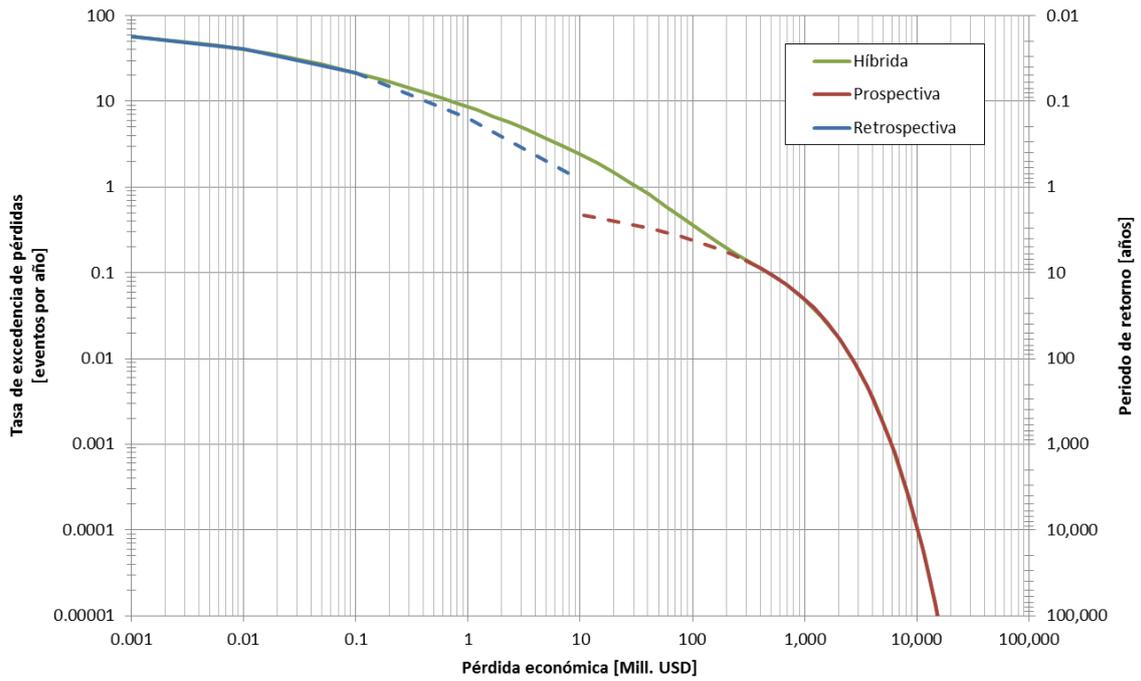


Figura 5-12 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Guatemala

Fuente: CIMNE et al. 2013a

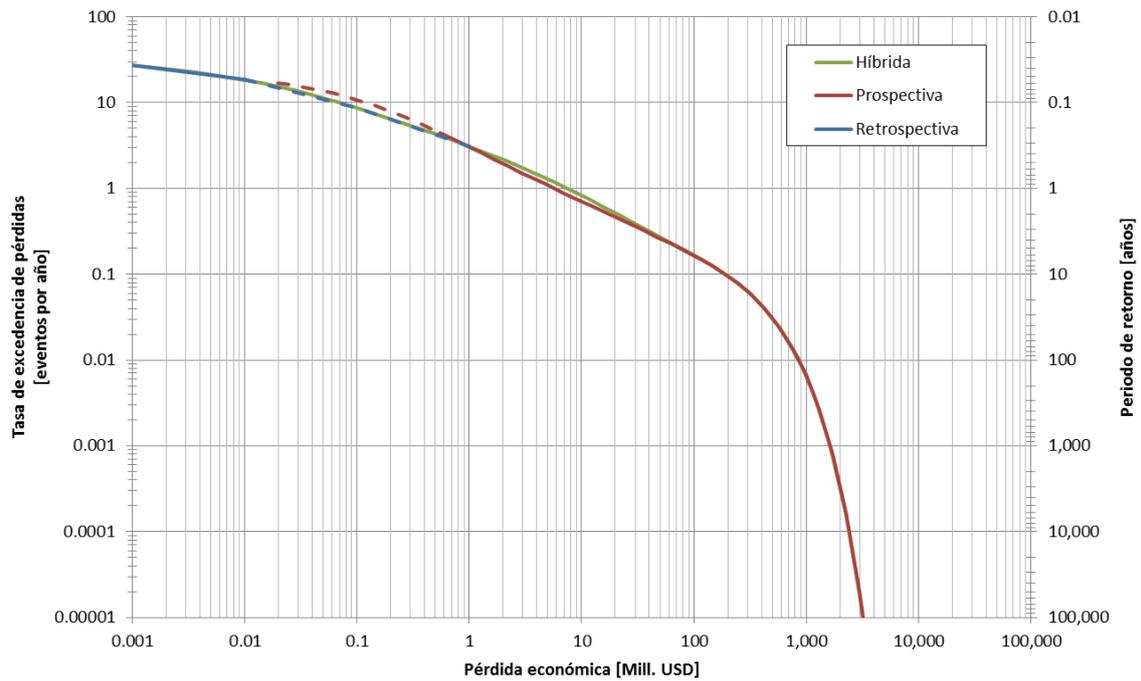


Figura 5-13 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Honduras

Fuente: CIMNE et al. 2013a

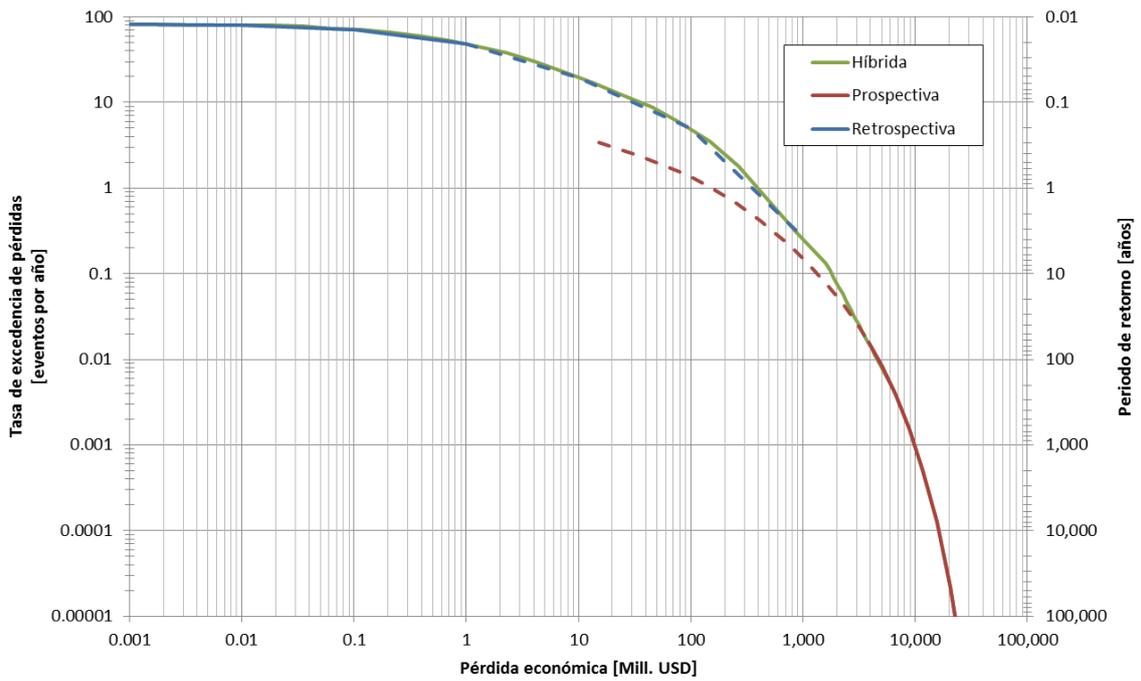


Figura 5-14 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para México

Fuente: CIMNE et al. 2011

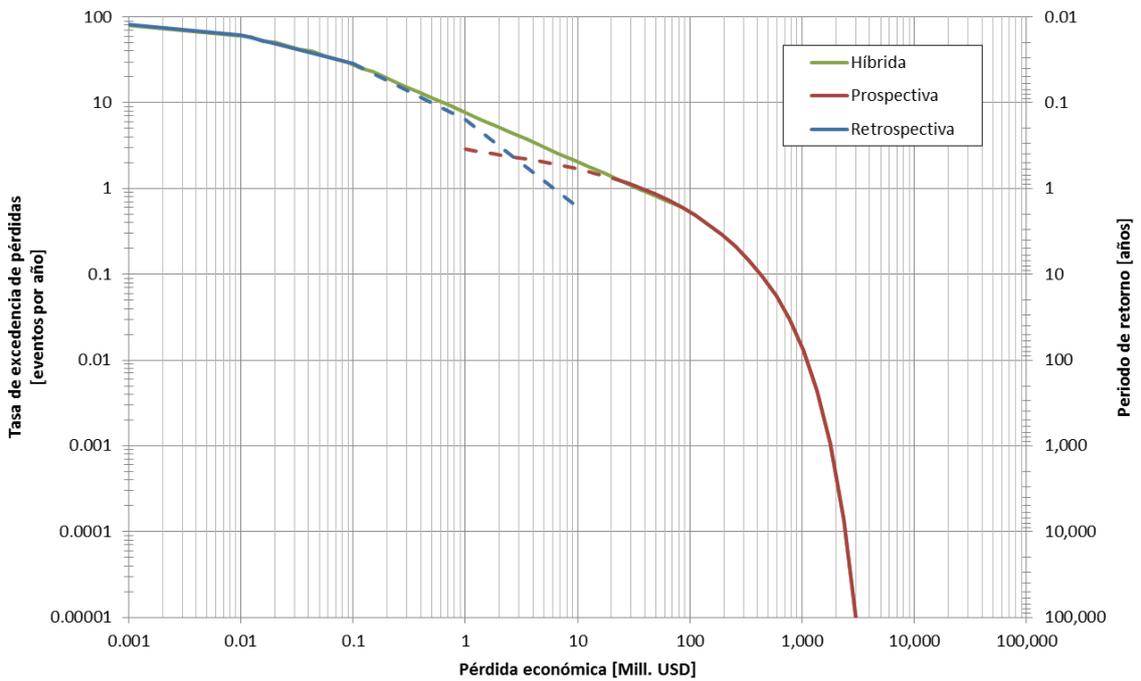


Figura 5-15 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Nepal

Fuente: CIMNE et al. 2011

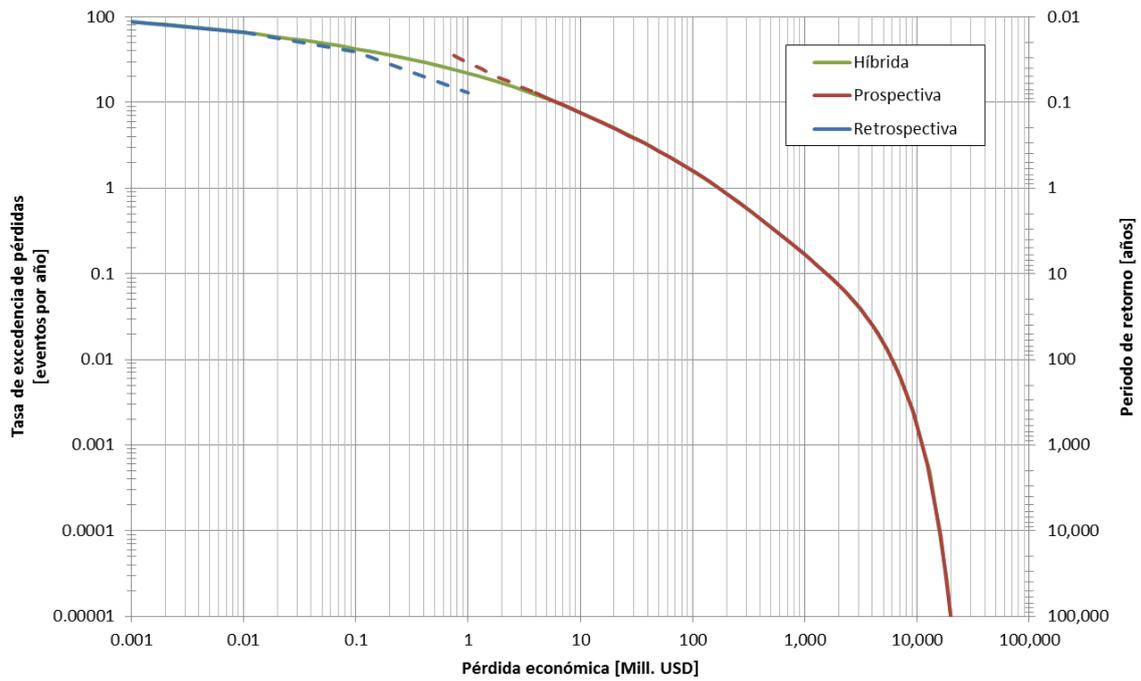


Figura 5-16 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Perú

Fuente: CIMNE et al. 2013a

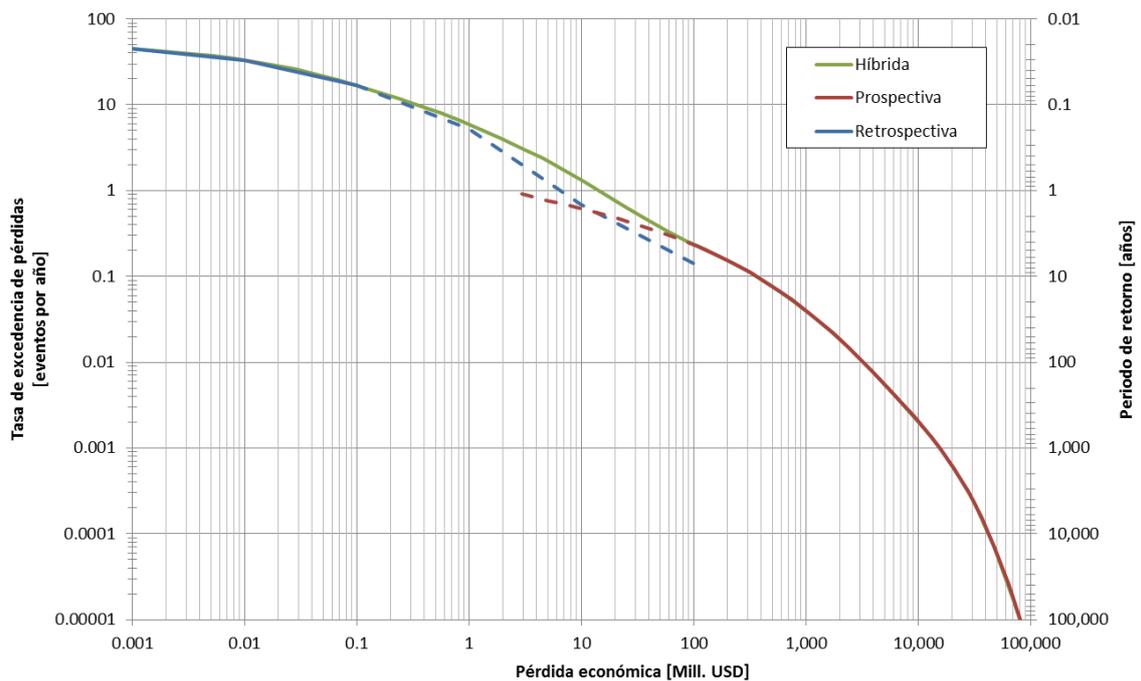


Figura 5-17 Curva híbrida de excedencia de pérdidas para Venezuela

Fuente: CIMNE et al. 2013a

Las curvas mostradas en las figuras anteriores no incluyen todos los puntos obtenidos del análisis, únicamente incluyen para una mejor visualización los

puntos antes (evaluación retrospectiva) y después (evaluación prospectiva) de la transición.

Las pérdidas anuales promedio (AAL) representan en un sentido estricto, es decir, sin considerar costos adicionales relacionados con la gestión administrativa y económica de los fondos, los recursos que cada gobierno debería ahorrar por año para hacer frente a los impactos de futuros desastres, cubriendo los daños a los elementos de su propiedad y su responsabilidad fiscal con la población vulnerable.

Haciendo relación directa con la industria de los seguros, la AAL o “prima pura” es solo uno de los diferentes elementos que conforman la prima comercial. Entre los diferentes aspectos que conforman la prima comercial se cuentan entre otros: el costo de oportunidad del dinero, la tasa de interés, el reaseguro, los costos administrativos y la ganancia. Estos conceptos se aplican sobre los fondos de reserva y sobre los fondos contingentes, que cada asegurador o empresa debe tener disponibles para cubrir sus responsabilidades, en caso de que uno o más de sus asegurados sufra la ocurrencia de un desastre. Estos costos son internos a cada compañía, los cuales tienen en cuenta la incertidumbre y posible correlación de pérdidas del portafolio de activos asegurado, por lo que es imposible tenerlos en cuenta en este documento.

Es común, que cada póliza tenga unos límites sobre las pérdidas que cubre, es decir, existe un monto mínimo (o deducible) y un monto máximo después del cual es el propio afectado que deberá cubrir el faltante. Estos límites están presentes para reducir el número de reclamaciones (al existir un monto mínimo, no existe ningún incentivo de reclamar daños inferiores a este), el riesgo moral (el cual es, que el asegurado por contar con una póliza, ignora procedimientos de seguridad y prevención, o directamente asume un comportamiento más riesgoso) y el riesgo de quiebra (al limitar la futura responsabilidad, es posible realizar mejores estimaciones de los fondos necesarios y contar con anterioridad con los mecanismos suficientes).

En el caso en el cual un país contrata una póliza de seguros, es normal que, debido a la frecuencia de las pérdidas causadas por los pequeños desastres, estas hagan parte del deducible. Por esta razón, los gobiernos deben tener estrategias explícitas que les permitan prevenir lo que sea posible, mitigar el riesgo de desastres (es decir, reducir el potencial de pérdidas) y preparar un adecuado manejo de la emergencia, de lo contrario las pérdidas causadas por los pequeños desastres pueden continuar con un impacto económico y social considerable.

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los eventos menores, en su mayoría comprometen de manera importante la estabilidad de cada elemento expuesto y, en general, es válido decir que el daño causado por los eventos que caracterizan el riesgo extensivo es independiente de las características de dichos elementos, pues los eventos son tan intensos que sólo el estar expuesto en el área de influencia del fenómeno implica la posibilidad de pérdida total o de estar en riesgo implícito. Considerando lo anterior, el riesgo extensivo puede ser mitigado mediante políticas eficientes de ordenamiento territorial, como la planificación del uso del suelo, la delimitación de zonas de protección de cauces y laderas, en combinación con medidas de mitigación o reducción de la amenaza (e.g. obras de protección, estabilidad de taludes, diques, embalses, etc.). Por otra parte el riesgo intensivo requiere, en general, de regulaciones más estrictas en los códigos y normas de edificación y de estrategias financieras de protección y transferencia del riesgo que, en caso de desastre, permitan la recuperación expedita de los elementos expuestos (activos o bienes) afectados.

6.1 Conclusiones sobre la metodología propuesta

En esta tesis se propone una nueva metodología para la evaluación del riesgo de desastres. Esta metodología se basa, por una parte, en el análisis de las consecuencias de eventos históricos, lo que permite considerar los efectos de los desastres “menores” pero frecuentes que producen pérdidas moderadas pero repetitivas. Por otra parte, se hace uso de modelos prospectivos y probabilistas que permiten estimar el futuro impacto de eventos catastróficos sobre los inmuebles existentes en el momento de la evaluación. Al combinar ambos

procedimientos de análisis, es posible conformar la curva híbrida de excedencia de pérdidas que representa el riesgo de desastres naturales en una forma más completa que los resultados individuales de los análisis empleados.

Al analizar los efectos causados por los desastres recopilados en las bases de datos, es posible observar las diferentes tendencias con las que los eventos o las diferentes amenazas han impactado cada país en el pasado y con la cual, al menos en el corto plazo, lo continuarán impactando.

Los registros históricos de desastres disponibles en las bases de datos de desastres han sido usados tradicionalmente para la calibración o validación de los modelos de riesgo. La metodología propuesta hace un uso más extenso de dichos datos al evaluar las pérdidas económicas causadas durante cada evento, lo que permite observar el impacto individual y colectivo que los desastres y, en particular, los desastres menores han tenido en la sociedad. A su vez, se puede estimar el monto de recursos necesario para que cada gobierno afronte su responsabilidad fiscal, al menos en el corto plazo, considerando que la tendencia de los eventos y de sus consecuencias se mantiene estable.

Los modelos actuales para la evaluación del riesgo, en general, no consideran el impacto individual de los pequeños desastres y, en particular, ignoran su efecto acumulado, el cual es de especial interés para gobiernos y aseguradores. Las métricas comunes del riesgo como, por ejemplo, AAL y LEC, no pueden obtenerse fácilmente para los desastres menores debido a la complejidad y al nivel de detalle de la información necesaria y al hecho de que los resultados presentan gran susceptibilidad a cambios menores de las características locales (por ejemplo, topografía, propiedades mecánicas de suelos). Aún más, debido a que cada evento menor impacta sobre un área reducida y, por tanto, el número de elementos expuestos dañados es bajo, se evita el uso de simplificaciones y generalizaciones empleadas en los modelos prospectivos, por lo que prácticamente cada elemento debe ser caracterizado de manera individual.

Al combinar el análisis retrospectivo (que evalúa el posible impacto de los desastres menores, con base en el comportamiento histórico), con el análisis prospectivo (que evalúa el impacto esperado de eventos futuros potencialmente catastróficos), es posible obtener el riesgo de desastres de forma más completa. Esto permite una mejor visión del riesgo al que la comunidad estudiada se encuentra expuesta y proporciona los insumos necesarios para diseñar mejores políticas de gestión del riesgo de desastres.

6.2 Conclusiones sobre los resultados obtenidos

El modelo desarrollado para Colombia ha sido construido de una manera explícita, lo que ha facilitado su implementación en otras regiones donde se reúnan las condiciones mínimas de información. Las curvas obtenidas permiten a las comunidades interesadas obtener de manera proactiva insumos para el desarrollo de políticas y planes que permitan entender y reducir su riesgo.

Los resultados obtenidos para Colombia mediante el modelo retrospectivo ilustran el elevado costo que los desastres menores han tenido durante el periodo de estudio y sirven como base para estimar los costos futuros que los mismos tendrán sobre las diferentes comunidades. Aún más, muestran como un elevado porcentaje de la población se encuentra en zonas susceptibles a consecuencias importantes por fenómenos hidrometeorológicos los cuales, debido al cambio climático por efectos antropogénicos es de esperar que tengan en el futuro un mayor impacto y frecuencia. Otro resultado importante del estudio realizado permite visualizar la alta frecuencia de los eventos menores, en especial de los deslizamientos y de los fenómenos hidrometeorológicos. Esto significa que dichos fenómenos tienen la mayor probabilidad de causar interrupciones en el funcionamiento normal de las comunidades, a pesar de que su costo individual sea casi imperceptible. Por el contrario, son los eventos tectónicos los que tienen el mayor potencial de daños, tal como se observa en los resultados del análisis prospectivo.

Los resultados de la evaluación prospectiva del portafolio fiscal de Colombia permiten estimar el monto total de los recursos que serían necesarios para facilitar la pronta recuperación de las comunidades afectadas después del impacto de un evento importante. La comparación de los resultados con valores proporcionados por los informes GAR de UN-ISDR, permite establecer que el rango obtenido es aceptable. Sin embargo, el valor de AAL obtenido en esta tesis es superior al valor correspondiente obtenido en los informes GAR, lo que se puede explicar por un mayor costo de los elementos en el modelo de exposición y por la baja dispersión espacial de los mismos. Dicha dispersión espacial más baja implica que no haya una variabilidad en las medidas de intensidad que afectan los diferentes grupos constructivos y que, por tanto, se sesgue su daño.

La evaluación de la curva híbrida para Colombia permite establecer que el costo anual de los desastres naturales es, al menos, un factor superior a cualquier estimación realizada por metodologías prospectivas convencionales que no consideran el aporte de los desastres menores. Estos resultados permiten ilustrar de manera puntual un caso que no es aislado y que es

desafortunadamente más común de lo que se podría pensar, como se observa en el capítulo 4.

Los ejemplos presentados a nivel nacional indican que es indispensable medir el riesgo de desastres tanto de manera retrospectiva como prospectiva. La carencia de procedimientos que permitan evaluar las pérdidas causadas por los eventos menores y repetitivos ha evitado que, hasta ahora, los gobiernos afectados sean conscientes de las grandes pérdidas causadas, de manera acumulada, por dichos eventos. La metodología propuesta y los casos de estudio presentados permiten, no sólo ilustrar sino además promover el interés de una adecuada gestión del riesgo, basada en una evaluación mixta y multi-amenaza facilitada por la curva híbrida de excedencia de pérdidas. Esta curva incluye el segmento del riesgo que la evaluación prospectiva no le es posible considerar, permitiendo una adecuada valoración del impacto de los desastres menores y recurrentes.

6.3 Futuras líneas de investigación

El análisis retrospectivo de las consecuencias de los desastres se limitó únicamente a los efectos proporcionados directamente por la base de datos. Podría ser posible incluir, mediante correlaciones estadísticas, otros elementos como las construcciones gubernamentales en función de la población y del número de empleados públicos del municipio. O bien, podría redefinirse el área individual de los elementos impactados en función del número de alumnos (centros educativos), en función de la población (centros de salud) o en función del nivel de complejidad (área construida de viviendas, porcentajes de vías asfaltadas).

Las valoraciones económicas de cada uno de los elementos impactados durante un evento se basan en simplificaciones y suposiciones que han sido realizadas con el mejor criterio posible; considerando, además, el uso futuro de los resultados esperados, es posible obtener un costo mínimo de los desastres mediante una metodología sencilla y replicable. Por lo tanto, el modelo actual está abierto a discusión y mejoras como, por ejemplo, podrían incluirse cultivos y ganadería.

Se puede plantear un esquema de agrupación espacial y temporal de los diferentes eventos con base en la distancia espacial que separa las poblaciones. De manera que se limitaría de forma más precisa el impacto causado por cada desastre sin que se acumulen consecuencias distantes solo porque ocurren en un mismo nivel geográfico o político.

Como permite observar la comparación realizada para Colombia, entre los resultados obtenidos en esta tesis mediante el modelo prospectivo y los resultados disponibles en los diferentes informes GAR de UNISDR, la baja dispersión de los elementos expuestos sesga los valores esperados de pérdidas, por lo que se recomienda el uso de modelos espaciales de población obtenidos a partir de información satelital como el presentado por WAPMERR (Wyss et al. 2013).

También se puede plantear un estudio de las limitaciones, ventajas y desventajas de aplicar el esquema propuesto en esta tesis a sectores más puntuales, como, por ejemplo el de la salud, teniendo en cuenta que las oficinas nacionales (ministerios, secretarías, etc.) cuentan con información más detallada que permita identificar y caracterizar los centros de salud. En este caso, incluso podría ser posible considerar los contenidos de los edificios, que en este tipo de estructuras son en general, la mayor partida del inventario.

Referencias

REFERENCIAS

ACHC (2010). Estadísticas del Ministerio de Protección Social. Asociación Colombiana de Hospitales y Clínicas. Página web: <http://www.achc.org.co>. Última consulta: Abril 11, 2014.

Aguilar, A. (2011). Evaluación probabilista del riesgo sísmico de edificios en zonas urbanas. Tesis Doctoral, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

AIS (2010). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Comité AIS-300. 226p. Bogotá. Colombia. ISBN 978-958-97609-6-3

Albala-Bertrand, J. M. (1993). Natural disaster situations and growth: A macroeconomic model for sudden disaster impacts. *World Development*, 21(9), 1417–1434. doi:10.1016/0305-750X(93)90122-P

ATC (1985). Earthquake Damage Evaluation Data for California. ATC-13. Applied Technology Council, Redwood City, CA.

ATC (2002). Commentary on the use of ATC-13 Earthquake Damage Evaluation Data for Probable Maximum Loss Studies of California Buildings. ATC-13-1. Applied Technology Council, ATC, Redwood City, California.

Barbat, A. H., Pujades, L. G., Lantada, N., & Moreno, R. (2008). Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10-11), 851 - 865.

Barbat, A. H., Carreño, M. L., Pujades, L. G., Lantada, N., Cardona, O. D., & Marulanda, M. C. (2010). Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1), 17-38.

Barbat, A. H., Carreño, M. L., Cardona, O. D. & Marulanda, M. C. (2011). Holistic assessment of seismic risk in urban areas. *Revista internacional de métodos numéricos para calculo y diseño en ingeniería* Volumen: 27 Número: 1 Páginas: 3-27

Bastiat, F. & Huszar, G. B. de. (2001). *Selected essays on political economy*. Fifth Printing. Irvington-on-Hudson, N.Y. Foundation for Economic Education. ISBN 0-910614-15-6

Benson, C. & Clay, E. J. (2003). *Understanding the economic and financial impacts of natural disasters: an assessment of their effects and options for mitigation*. Washington, DC: World Bank.

BID (2009). *Aplicación y Actualización del Sistema de Indicadores de Riesgo y Gestión de Riesgos: Argentina, Barbados, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Jamaica, México, Panamá, Perú, República Dominicana, Trinidad y Tobago*. Operación BID RG-T1579/ATN/MD-11238-RG.

BID (2014). *Actualización de los indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos en 15 países y aplicación en dos países*. Operación BID RG-T2174/ATN/MD-13414-RG.

Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P. & Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural hazards* Volumen: 67 Número: 2 Páginas: 193-211

BLS (2013). *Inflation calculator: Bureau of Labor statistics*. http://www.bls.gov/data/inflation_calculator.htm. Última consulta: Julio 8, 2014.

CAF (2000). *El fenómeno el niño 1997-1998, Memoria: Retos y Soluciones, Volumen III – Colombia*. Corporación Andina de Fomento. Recuperado de <http://publicaciones.caf.com/publicacion?id=1285>

Cardona, O. D. (1985). *Hazard, vulnerability analysis and risk assessment*. Institute of earthquake engineering and engineering seismology IZS, Skopje, Macedonia.

Cardona, O. D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Tesis Doctoral, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

Cardona, O. D. (2002). Retención y transferencia de riesgos” Capítulo 4 de Gestión del Riesgo Colectivo; Curso de Gestión Integral de Riesgos y Desastres. Structuralia/CIMNE, Madrid, España.

Cardona, O. D., Hurtado J. E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A. C., Velásquez, L. S. & Prieto, S. D. (2003a). “La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral”. IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Cardona, O. D. (2004). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective. In: G. Bankoff GF, & D. Hilhorst (ed) Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People. Earthscan, pp 37-51.

Cardona, O. D. (2005a). “Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos: Informe resumido”. BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co>

Cardona, O. D. (2005b). “Sistema de Indicadores para la Gestión del Riesgo de Desastres: Informe Técnico Principal”. BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co>.

Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Yamin, L. E., Marulanda, M. C., & Barbat, A. H. (2008a). Earthquake Loss Assessment for Integrated Disaster Risk Management. *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 48-59.

Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Marulanda, M. C., & Barbat, A. H. (2008b). Estimation of Probabilistic Seismic Losses and the Public Economic Resilience—An Approach for a Macroeconomic Impact Evaluation. *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 60-70.

Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Marulanda, M. C., Carreño, M. L., & Barbat, A. H. (2010a). Disaster risk from a macroeconomic perspective: a metric for fiscal vulnerability evaluation. *Disasters*, 34(4), 1064-1083.

Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Reinoso, E., Yamin, L. E., & Barbat, A. H. (2010b). Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA):

International Initiative for Disaster Risk Management Effectiveness. Presented at the 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia.

Cardona, O. D. (2011). Disaster Risk and Vulnerability: Concepts and Measurement of Human and Environmental Insecurity. In H. G. Brauch, Ú. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, et al. (Eds.), *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security* (Vol. 5, pp. 107-121). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Cardona, O. D., Marulanda, M. C., Velásquez, C. A. & Barbat, A. H. (2012a). Earthquake loss assessment for evaluation of the sovereign risk and financial sustainability of countries: Economic impacts, fiscal responsibilities and contingent liabilities. Presented at the 15th World conference on earthquake engineering. Lisbon, Portugal.

Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Reinoso, E., Yamin, L. E. & Barbat, A. H. (2012b). Comprehensive approach for probabilistic risk assessment (CAPRA): International initiative for disaster risk management effectiveness. Presented at the 15th World conference on earthquake engineering. Lisbon, Portugal.

Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Mora, M. G., Salgado, M. A., Bernal, G. A., Zuloaga, D., Marulanda, M. C., Yamín, L. E. & González, D. (2014). Global risk assessment: A fully probabilistic seismic and tropical cyclone wind risk assessment, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Available online 26 May 2014, ISSN 2212-4209, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.05.006>.

Carreño, M. L. (2006). Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Tesis Doctoral, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2007a). Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach. *Natural Hazards*, 40(1), 137-172. doi:10.1007/s11069-006-0008-8

Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2007b). A disaster risk management performance index. *Natural Hazards*, 41(1), 1-20. doi:10.1007/s11069-006-9008-y

Carreño, M. L., Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2012). New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective. *Bulletin of earthquake engineering* Volumen: 10 Número: 2 Páginas: 547-565

Carreño, M. L., Barbat, A. H. & Cardona, O. D. (2014). Numerical method for the holistic evaluation of the seismic risk based on the fuzzy sets theory. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería* Volumen: 30 Número: 1 Páginas: 25-34

CEPAL (1999a). La política de vivienda de interés social en Colombia en los noventa. Comisión económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile.

CEPAL (1999b). El terremoto de Enero de 1999 en Colombia: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del eje cafetero. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD.

CEPAL (2003). Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres. LC/L.1874. Comisión económica para América Latina y el Caribe.

CEPAL (2007). Información para la gestión del riesgo de desastres. Estudios de caso de cinco países. Informe técnico principal. BID operación LC/MEX/L.805. Comisión económica para América Latina y el Caribe.

CEPAL (2012). Valoración de daños y pérdidas: Ola invernal en Colombia 2010-2011. Bogotá, Colombia. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL; Banco Interamericano de Desarrollo – BID.

CIMNE, Ingeniar, ITEC & ERN (2009). Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos. Informe comparativo. Operación BID RG-T1579/ATN/MD-11238-RG.

CIMNE, Ingeniar, ITEC & ERN (2010). Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment, CAPRA. The World Bank, IDB, UNISDR, CEPREDENAC. Disponible en: www.ecapra.org

CIMNE, Ingeniar, ITEC & ERN (2011). Modelación Probabilista de Riesgos Naturales a Nivel Global: La Curva Híbrida de Excedencia de Pérdidas. Desarrollo Metodológico e Implementación de Casos de Estudio Fase 1A: Colombia, México y Nepal. Informe preparado para el GAR 2011. Ginebra, Suiza: EIRD/ONU.

CIMNE, INGENIAR, ITEC & EAI. (2013a). Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.

CIMNE, INGENIAR, ITEC SAS & EAI. (2013b). Probabilistic Modelling Of Natural Risks At The Global Level: Global Risk Model. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.

CIMNE, Ingeniar & ITEC (2014a). Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos. Informe comparativo. Operación BID RG-T2174/ATN/MD-13414-RG.

CIMNE & INGENIAR (2014b). Selection of Local Case Studies With Fully Probabilistic Hazard and Risk Assessments. Background Paper prepared for the 2015 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.

CIMNE & INGENIAR (2014c). Update on the Probabilistic Modelling of Natural Risks at Global Level: Global Risk Model. Global earthquake and tropical cyclone hazard assessment. Disaster risk assessment of countries for seismic, cyclonic (wind and storm surge) and flood. Background Paper prepared for the 2015 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.

Compass International (2012). 2012 Global construction cost and reference yearbook –12th annual edition. Compass International Consultants Inc. Morrisville, USA.

CRED (____). EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – [www.emdat.net](http://emdat.net). Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain. Dirección web <http://emdat.be/>. Última visita: Diciembre 18, 2014

DANE (2009). Metodología déficit de vivienda. Dirección de metodología y producción estadística (DIMPE). ISSN 0130-7423. Imprenta Nacional de Colombia.

DANE (2012a). Gran Encuesta Integrada de Hogares. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DANE (2012b). Investigación de Educación Formal. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DANE (2014). Información, indicadores y estadísticas. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Dirección web: <http://www.dane.gov.co>. Última visita: Octubre 9, 2014.

De Bono, A. (2013). The Global Exposure Database for GAR 2013. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland

De Bono, A. & Mora, M. G. (2014). A global exposure model for disaster risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Volume 10, Part B, Pages 442-451. Elsevier Ltd.

Decreto 2060 de 2004. República de Colombia. Diario Oficial 45590. 25 de Junio de 2004.

Decreto 2083 de 2004. República de Colombia. Diario oficial 45595. 30 de Junio de 2004

Decreto 0075 de 2013. República de Colombia. Diario Oficial No. 48.682. 23 de Enero de 2013

Dirección General de Vivienda (2003). Normas técnicas de vivienda – Condiciones mínimas de calidad y habitabilidad. Ministerio de desarrollo económico, Viceministerio de desarrollo urbano y vivienda. República de Bolivia.

ESPON (2006). The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe. European Spatial Planning Observation Network (ESPON). Retrieved from www.preventionweb.net/english/professional/publications/v.php?id=3621

ERN-Colombia (2004). Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos. Banco Mundial, Departamento Nacional de Planeación – Colombia.

FAO (2007). Fire management – Global assessment 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

FEMA (2006). Multi-hazard loss estimation methodology, HAZUS-MH MR2 technical manual, prepared for the Federal Emergency Management Agency, Washington DC, United States, Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences.

FONAVIS (2011) Reglamento general del FONAVIS. República del Paraguay.

Gallego, M. (1999). Estimación del Riesgo Sísmico en la República de Colombia, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.

Grossi, P. & Kunreuther, H. (2005). Catastrophe modeling a new approach to managing risk. New York, NY: Springer.

Guha-Sapir, D., Vos, F., Below, R. & Ponserre, S. (2011). Annual disaster statistical review 2010: The numbers and trends. CRED. Brussels, Belgium.

Hallegatte, S. & Ghil, M. (2008). Natural disasters impacting a macroeconomic model with endogenous dynamics. *Ecological Economics*, 68(1-2), 582-592. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.05.022

Hallegatte, S. & Dumas, P. (2009). Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. *Ecological Economics*, 68(3), 777-786. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.011

Harrington, S. E., & Niehaus, G. (2004). Risk management and insurance. Boston, Mass.: McGraw-Hill.

Held, G. (2000). Financiamiento del desarrollo; Políticas de viviendas de interés social orientadas al mercado: experiencias recientes con subsidios a la demanda en Chile, Costa Rica y Colombia. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile. CEPAL.

IDEA (2005). Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre. BID operación ATN/JF-7907-RG. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

IFRC (2005). World Disasters Report 2005: Focus on Information in Disasters (1st ed.). Kumarian Press.

IGAC (____). Mapa de Cartografía básica a escala 1:100.000 y 1:500.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Dirección web: <http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/MapasdeColombia/> Descargas. Última visita: Abril 1, 2014

IMF (2013). World Economic Outlook Database, April 2013. International Monetary Fund. Disponible en <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01/weodata/index.aspx>

INFONAVIT (2006). Disposiciones y reglamentos de vivienda 2006. Instituto del fondo nacional de la vivienda para los trabajadores.

INURBE (1990). Medio siglo de vivienda social en Colombia 1939-1989. Instituto de Crédito Territorial ICT, Ministerio de desarrollo económico, Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana INURBE.

INURBE (1995a). Medio siglo de vivienda social en Colombia 1939-1989. Instituto de Crédito Territorial – ICT, Ministerio de desarrollo económico,

Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana – INURBE. Bogotá, Colombia.

INURBE (1995b). Cartilla para usuarios – Modelos replicables para asistencia técnica. Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana – INURBE. Bogotá, Colombia.

Jaiswal, K., Wald, D. & Porter, K. (2010). A global building inventory for earthquake loss estimation and risk management. *Earthquake Spectra*, Vol, 26, No. 3, pp. 731–748. doi: <http://dx.doi.org/10.1193/1.3450316>

Kellogg, J. N. & Vega, V. (1995). Tectonic Development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constraints from global positioning system geodetic studies and gravity, *Geological Society of America, Special Paper*, pp 75-90.

Kunreuther, H. & Yen Koo, C. (2006). Risk and reaction - dealing with interdependencies. *Harvard International Review* 28 (3).

Kunreuther, H., Meyer, R. & Erwan, M. (2009). Overcoming decision biases to reduce losses from natural catastrophes. *Risk Management and Decision Processes Center The Wharton School of the University of Pennsylvania*.

Lagomarsino, S. & Giovinazzi, S. (2006) Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*; 4(4): 415-443.

Lantada, N., Pujades, L. G. & Barbat, A. H. (2009a) Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison. *Natural Hazards*; 51(3): 501-524.

Lantada, N., Irizarry, J., Barbat, A. H., Goula, X., Roca, A., Susagna, T. & Pujades, L. G. (2009b). Seismic hazard and risk scenarios for Barcelona, Spain, using the Risk-UE vulnerability index method. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(2), 201-229.

La Red, OSSO (2003). Comparative Analysis of Disaster Databases. UNDP-ISDR. Disponible en: http://www.unisdr.org/2005/task-force/working%20groups/wg3/Comparative_Analysis_of_Disaster_Database.pdf

Ley No 26912. Ley de Promoción del acceso de la población a la propiedad privada de vivienda y fomento del ahorro, mediante mecanismos de financiamiento con participación del sector privado. República de Perú.

Ley No. 13728. Plan nacional de viviendas. República Oriental del Uruguay. Diario Oficial No 17982. 27 de Diciembre de 1968.

Loayza, N. V., Olaberría, E., Rigolini, J. & Christiaensen, L. (2012). Natural Disasters and Growth: Going Beyond the Averages. *World Development*, 40(7), 1317–1336. doi:10.1016/j.worlddev.2012.03.002

Marulanda, M. C., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2008). La gestión financiera del riesgo desde la perspectiva de los desastres: Evaluación de la exposición fiscal del estado y alternativas de instrumentos financieros de retención y transferencia del riesgo. CIMNE IS-61. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, España.

Marulanda, M. C., Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2010). Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. *Disasters*, 34(2), 552-570. doi:10.1111/j.1467-7717.2009.01143.x

Marulanda, M. C., Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2011). Revealing the Impact of Small Disasters to the Economic and Social Development. In H. G. Brauch, Ú. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, et al. (Eds.), *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security* (Vol. 5, pp. 575-584). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Marulanda, M. C. (2013a). Modelación probabilista de pérdidas económicas por sismo para la estimación de la vulnerabilidad fiscal del Estado y la gestión financiera del riesgo soberano. Tesis Doctoral, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

Marulanda, M. C., Carreño, M. L., Cardona, O. D., Ordaz, M. G. & Barbat, A. H. (2013b). Probabilistic earthquake risk assessment using CAPRA: application to the city of Barcelona, Spain. *Natural hazards*. Volumen: 69 Número: 1 Páginas: 59-84

Marulanda, M. C., Cardona, O. D., Mora, M. G. & Barbat, A. H. (2014). Design and implementation of a voluntary collective earthquake insurance policy to cover low-income homeowners in a developing country. *Natural Hazards*, Volumen: 74 Número: 3 Páginas: 2071-2088

Moreno, A. & Cardona, O. D. (2011). Efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento, el desempleo, la inflación y la distribución del ingreso: Una evaluación de los casos de Colombia y México. Informe preparado para el GAR 2011. Ginebra, Suiza: EIRD/ONU.

- Mouroux, P. & Brun, B. (2006). Assessing and Managing Earthquake Risk. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering (Vol. 2, pp. 479–508). Springer Netherlands.
- Notimex (2013). 26 de Abril - Piden establecer un tamaño mínimo en viviendas de interés social. Instituto electoral del distrito federal – IEDF. <http://www.iedf.org.mx/ut/ucs/INFORMA/abril13v/vesp26/05.pdf>
- Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development Economics*, 88(2), 221–231. doi:10.1016/j.jdeveco.2008.02.005
- Ordaz, M. G. (2000). Metodología para la evaluación del riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros para terremoto. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordaz, M. G., Aguilar, A. & Arboleda, J. (2007). CRISIS2007: Program for Computing Seismic Hazard. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México
- Ordaz, M. G., Cardona, O. D., Salgado, M. A., Bernal, G. A., Singh, S. K., Zuloaga, D. (2014). Probabilistic seismic hazard assessment at global level. *International journal of disaster risk reduction* Volume: 10 pp: 419-427 DOI: 10.1016/j.ijdrr.2014.05.004
- Ordaz, M. G. (2015). A simple probabilistic model to combine losses arising from the simultaneous occurrence of several hazards. *Natural Hazards*, Volume 76, Issue 1, pp 389-396. DOI 10.1007/s11069-014-1495-7. Print ISSN: 0921-030X. Online ISSN: 1573-0840 .
- OSSO & LA RED (2009). Sistema de inventario de desastres DesInventar – Guía metodológica Versión 8.1.9.
- Parlamento Europeo (2008). Forest fires: causes and contributing factors in Europe. European parliament’s committee on the Environment, Public health and Food safety. Brussels, Belgium.
- Pulido, N. (2003). Seismotectonics of the northern Andes (Colombia) and the development of seismic networks. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 2003 Special Edition, 69–76.
- Ramón, F. (1976). Alojamiento. Madrid: Cambio 16.
- RISK-UE (2001–2004). An advanced approach to earthquake risk scenarios, with applications to different European cities. Website <http://www.risk-ue.net>

Roa, D. M. (2010). Desastres naturales y vulnerabilidad fiscal. Universidad Externado de Colombia, Bogotá.

ROCKS (2002). Road Cost Knowledge System. World Bank Group. http://www.worldbank.org/transport/roads/rd_tools/rocks_main.htm

Salgado, M. A., Bernal, G. A., Yamin, L. E. & Cardona, O. D. (2010). Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10. *Revista de Ingeniería (Universidad de los Andes)* [online]. 2010, n.32, pp. 28-37. ISSN 0121-4993

Sánchez Corral, J. (2010a). La vivienda “Social” en México: Pasado - presente – futuro?. Sistema nacional de creadores de arte emisión 2008; Primer informe Agosto 2009 – Julio 2010.

Sánchez Corral, J. (2010b). Vivienda social: factores que influyen en la producción de vivienda en México. Sistema nacional de creadores de arte emisión 2008; Primer informe Agosto 2009 – Julio 2010.

Sarria, A. (2003). Ingeniería sísmica (2ª Edición). Santa Fe de Bogotá: Uniandes.

Schumacher, I. & Strobl, E. (2011). Economic development and losses due to natural disasters: The role of hazard exposure. *Ecological Economics*, 72, 97–105. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.09.002

Strobl, E. (2012). The economic growth impact of natural disasters in developing countries: Evidence from hurricane strikes in the Central American and Caribbean regions. *Journal of Development Economics*, 97(1), 130–141. doi:10.1016/j.jdeveco.2010.12.002

Subsecretaria de desarrollo urbano y vivienda (2007). Los programas de vivienda social y la inclusión urbana – Argentina. XVI Asamblea de ministros y autoridades máximas de la vivienda y el urbanismo en América Latina y el Caribe – Minurvi. Chile.

Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H. & Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19(5), 787–813. doi:10.1029/2000TC900004

Toya, H. & Skidmore, M. (2007). Economic development and the impacts of natural disasters. *Economics Letters*, 94(1), 20–25. doi:10.1016/j.econlet.2006.06.020

Tversky, A. & Shafir, E. (1992). Choice under conflict: The dynamics of deferred decision. *Psychological science* 3 (6):358-361.

UNDP (2004). *Reducing Disaster Risk: A challenge for development*. Geneva, Switzerland. United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery.

UNDRO (1980). *Natural disasters and vulnerability analysis*, Report of experts group meeting, UNDRO, Geneva.

UNISDR (2009). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate*. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132028-2

UNISDR (2011). *GAR2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing risk, redefining development*. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132030-5

UNISDR (2013). *GAR2013: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – From shared risk to shared value: The business case for disaster risk reduction*. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132038-1

UNISDR (2015). *GAR2015: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management*. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132042-8

UNISDR (____). *Desinventar.net - DesInventar Disaster Information Management System, Version 9.5.12-2011*. Geneva, Switzerland: UNISDR. Disponible en: <http://www.desinventar.net/index.html>. Última visita: Diciembre 21, 2014

Valcarcel, J. A. (2013). *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales*. Tesis Doctoral. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.

Vargas, Y. F., Pujades, L. G. & Barbat, A. H. (2013a). “Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico en edificios de hormigón armado”, *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 29(2), 63-78.

- Vargas, Y. F., Pujades, L. G., Barbat, A. H. & Hurtado, J. E. (2013b). "Capacity, fragility and damage in reinforced concrete buildings: a probabilistic approach", *Bulletin of Earthquake Engineering*, DOI 10.1007/s10518-013-9468-x.
- Vargas, Y. F., Barbat, A. H., Pujades, L. G. & Hurtado, J. E. (2013c). "Probabilistic seismic risk evaluation of reinforced concrete buildings", *Structures and Buildings (Proceedings of the Institution of Civil Engineering)*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1680/stbu.12.00031>
- Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Yamin, L. E., Mora, M. G. & Barbat, A. H. (2011). Curva de excedencia de pérdidas híbrida para la representación del riesgo. Cuarto Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Granada, España.
- Velásquez C. A., Cardona O. D., Mora M. G., Yamin L. E., Carreño M. L. & Barbat A. H. (2014a). Hybrid loss exceedance curve (HLEC) for disaster risk assessment. *Natural Hazards* 72 (2):455–479. DOI 10.1007/s11069-013-1017-z. Print ISSN 0921-030X. Online ISSN 1573-0840.
- Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Carreño, M. L. & Barbat, A. H. (2014b) Retrospective assessment of risk from natural hazards, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 10, Part B, December 2014, Pages 477-489, ISSN 2212-4209, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.05.005>.
- WHE (____). World Housing Encyclopedia. Disponible en www.world-housing.net. Última visita: Noviembre 13, 2014
- Woo, G. (1999). *The mathematics of natural catastrophes*. Imperial College Press.
- Woo, G. (2011). *Calculating catastrophe*. Imperial College Press.
- World Bank Group (____). Sistema de Indicadores del Banco Mundial. World Bank Group. Dirección web: <http://data.worldbank.org/indicator>. Última visita: Diciembre 19, 2014
- WWF (2005). *Incendios forestales - ¿Por qué se queman los montes españoles?*. WWF/Adena. Madrid, España.
- Wyss, M., Tolis, S., Rosset, P. & Pacchiani, F. (2013). *Approximate Model for Worldwide Building Stock in Three Size Categories of Settlements*. WAPMERR (World Agency of Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction). Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland

Youngs, R. R., Chiou, S.-J., Silva, W. J. & Humphrey, J. R. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 58–73. doi:10.1785/gssrl.68.1.58

Zimmerli, P. (2003) *Las catástrofes naturales y el reaseguro*. SwissRe.

Anexos

Anexo 1

Publicaciones

La siguiente es la lista de publicaciones y congresos realizados por el doctorando durante el desarrollo de esta tesis:

Revistas indexadas:

Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Mora, M. G., Yamin, L. E., Carreño, M. L. & Barbat, A. H. (2014). Hybrid loss exceedance curve (HLEC) for disaster risk assessment. *Natural Hazards* 72 (2):455–479. DOI 10.1007/s11069-013-1017-z. Print ISSN 0921-030X. Online ISSN 1573-0840.

Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Carreño, M. L. & Barbat, A. H. (2014) Retrospective assessment of risk from natural hazards, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 10, Part B, December 2014, Pages 477-489, ISSN 2212-4209, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.05.005>.

Salgado, M. A., Zuloaga, D., Velásquez, C. A., Carreño, M. L., Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2015). Urban seismic risk index for Medellin, Colombia, based on probabilistic loss and casualties estimations. *Natural Hazards*. DOI: 10.1007/s11069-015-2056-4

Congresos:

Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Yamin, L. E., Mora, M. G. & Barbat, A. H. (2011). Curva de excedencia de pérdidas híbrida para la representación del riesgo. Cuarto Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Granada, España.

Velásquez C. A., Mora M. G., González D .M., Yamín L .E. & Cardona, O. D. (2011). Metodología para el levantamiento de información básica de exposición para la evaluación del riesgo sísmico. V Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Medellín, Colombia.

Cardona O. D., Marulanda, M. C., Velásquez, C. A. & Barbat, A. H. (2012). Earthquake loss assessment for evaluation of the sovereign risk and financial sustainability of countries: Economic impacts, fiscal responsibilities and contingent liabilities. Presented at the 15th World conference on earthquake engineering. Lisbon, Portugal.

Salgado, M. A., Zuloaga, D., Velásquez, C. A., Carreño, M. L., Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2014). Urban seismic risk index for Medellin, Colombia: a probabilistic and holistic approach. 2nd Conference on Integrated Research on Disaster Risk. Beijing, China.

Carreño, M. L., Cardona, O. D., Barbat, A. H., Velásquez, C. A. & Salgado, M. A. (2014). Holistic seismic risk assessment of Port of Spain: an integrated evaluation and tool in the framework of CAPRA. Second European conference on earthquake engineering and seismology (2ECEES). Estambul, Turquía.

Salgado, M. A., Zuloaga, D., Velásquez, C. A., Carreño, M. L., Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2014). Urban seismic risk index for Medellín, Colombia: a probabilistic and holistic approach. Second European conference on earthquake engineering and seismology (2ECEES). Estambul, Turquía.

Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Mora, M. G., Yamin, L. E., Carreño, M. L. & Barbat, A. H. (2014). Hybrid loss exceedance curve for Colombia: A prospective and retrospective approach. Second European conference on earthquake engineering and seismology (2ECEES). Estambul, Turquía.

Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Mora, M. G., Yamin, L. E., Carreño, M. L. & Barbat, A. H. (2015). Curva híbrida de riesgo para Colombia. Séptimo congreso nacional de ingeniería sísmica. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Contribuciones (coautor)

Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: El caso de Bogotá, Colombia. Banco Mundial, Universidad de los Andes.

Proyectos asociados a la tesis:

Esta investigación contribuyó a los siguientes proyectos:

Modelación Probabilista de Riesgos Naturales a Nivel Global: La Curva Híbrida de Excedencia de Pérdidas. Desarrollo Metodológico e Implementación de Casos de Estudio Fase 1A: Colombia, México y Nepal. Informe preparado para el GAR 2011. Ginebra, Suiza: EIRD/ONU.

Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.

Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos. Informe comparativo. Operación BID RG-T2174/ATN/MD-13414-RG.

Anexo 2

Siglas

AAL: Average annual loss. Véase PAE.

CAPRA: Enfoque integral para la evaluación probabilista del riesgo. (en inglés: Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment)

CEP: Curva de excedencia de pérdidas.

CRED: Centro de investigación acerca de la epidemiología de los desastres. (en inglés: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters).

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – Colombia

DSHA: Análisis determinista de la amenaza sísmica (en inglés: Deterministic Seismic Hazard Analysis)

EIRD: véase UNISDR.

EM-DAT: Base de datos internacional de desastres del CRED (en inglés CRED - Emergency disasters Database)

ENOS: El Niño Oscilación Sur.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (en inglés Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FMI: Fondo Monetario Internacional

GLIDENumber: Número único de identificación global de los desastres. (en inglés: **G**lobal Unique **I**dentifier Number)

GSHAP: Proyecto de evaluación global de la amenaza sísmica (en inglés Global Seismic Hazards Assessment Project)

IFRC: Federación internacional de la cruz roja y de la media luna roja.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Colombia

IMF: véase FMI.

LEC: Loss exceedance curve, véase CEP.

NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (en inglés National Oceanic and Atmospheric Administration)

PAE: Pérdida Anual Esperada

PIB: Producto Interno Bruto

PIBPC: PIB per cápita

PML: Probable maximum loss. Véase PMP.

PMP: Pérdida máxima probable.

PNUD: véase UNDP

PPA: Paridad de poder adquisitivo.

PPP: Purchasing power parity.

PSHA: Análisis probabilista de la amenaza sísmica (en inglés: Probabilistic Seismic Hazard Analysis)

UNDP: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (en inglés United Nations Development Programme)

UNISDR: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre. (En inglés United Nations - International Strategy for Disaster Risk Reduction)

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos de América. (en inglés United States Geological Survey)

WMO: Organización meteorológica mundial. (en inglés World meteorological organization)

Anexo 3

Glosario de Términos

Las siguientes definiciones permiten aclarar los conceptos utilizados en esta tesis, han sido extraídos en su mayoría de Cardona (2001) y Carreño (2006).

ACABADOS O ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES: Partes y componentes de un edificio que no pertenecen a la estructura o a su cimentación. Aquí se incluyen elementos que aunque no contribuyen a poner en peligro la estabilidad del edificio, si representan un riesgo para la vida y seguridad de los ocupantes.

ADAPTACIÓN: Capacidad o habilidad de un grupo social de ajustarse a cambios ambientales con fines de supervivencia y sostenibilidad.

ALERTA (TEMPRANA): Situación que se declara a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, para la provisión de información adecuada, precisa y efectiva con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y la población tome precauciones específicas. Además de informar a la población acerca del peligro, los estados de alerta se declaran con el propósito de que la población y las instituciones adopten una acción específica ante la situación que se presenta.

AMENAZA: Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antropogénico, que se anticipa puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y/o el ambiente expuestos. Es un factor de riesgo externo que se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.

AMENAZA ANTROPOGÉNICA O ANTRÓPICA: Amenaza generada por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de edificios e infraestructura. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc.

AMENAZA NATURAL: Amenaza asociada con la posible manifestación de un fenómeno físico cuyo génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales

de transformación y modificación del ambiente. Suele clasificarse de acuerdo con el origen del fenómeno que la caracteriza en: amenazas geodinámicas (endógenas o tectónicas, como sismos, erupciones volcánicas; o exógenas, como la remoción en masa y las subsidencias); hidrológicas (como inundaciones lentas o rápidas, sedimentación, erosión, desertificación); atmosféricas (como tormentas y otros fenómenos meteorológicos, u oceánico-atmosféricas como huracanes o El Niño); y biológicas (como vectores de enfermedad y plagas).

AMENAZA SOCIO NATURAL: Amenaza cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales. Entre los múltiples ejemplos de este tipo de fenómeno se incluyen casos de inundación y deslizamiento que resultan de procesos de deforestación y deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; y la falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección de la naturaleza con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generarán con el Cambio Climático Global son el ejemplo más notable de la noción de amenaza socio-natural. Algunos de estos fenómenos en ocasiones son resultado de procesos exclusivamente naturales, caso en el cual constituyen sólo una amenaza natural.

ANÁLISIS DEL RIESGO: Desde la perspectiva de los desastres, en su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos en un territorio y con referencia a grupos o unidades sociales y económicas particulares. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. Análisis de amenazas y de vulnerabilidades componen facetas del análisis de riesgo y deben estar articulados con este propósito y no comprender actividades separadas e independientes. Un análisis de vulnerabilidad es imposible sin un análisis de amenazas y viceversa.

ANTRÓPICO: De origen humano o de las actividades del hombre, incluidas las tecnológicas.

BIENES Y SERVICIOS: Son aquellas cosas tangibles e intangibles, de valor económico que reportan beneficio a quienes las poseen o usufructúan y que permiten la vida en comunidad. Serán bienes cuando son susceptibles de

apropiación, sea privada pública y servicios cuando su utilidad radica exclusivamente en su consumo.

CAPACIDAD: Una combinación de todos los atributos y recursos de la comunidad u organización que pueden dirigirse positivamente hacia la gestión del riesgo.

CONSTRUCCIÓN: En el contexto de este documento, una construcción hace referencia a cualquier obra civil construida por el hombre, incluyendo pero sin limitarse y sin considerar el uso: Casas o viviendas, Edificios, Bodegas, Vías. Puede referirse también a la etapa de desarrollo físico de la obra civil.

CRISIS: Condición de inestabilidad que involucra cambios abruptos o decisivos. Es el proceso de liberación de los elementos sumergidos y reprimidos de un sistema como resultado de una perturbación exógena o endógena, que conduce a la parálisis de los elementos protectores y moderadores, a la extensión de los desórdenes, la aparición de incertidumbres de todo tipo y de reacciones en cadena y eventualmente a la mutación o desaparición del sistema en crisis. Las crisis pueden ser el resultado de un desastre o constituir ellas mismas el desastre. Ofrecen oportunidades de cambios positivos y no solamente negativos.

DAÑO: Efecto adverso o grado de destrucción causado por un fenómeno peligroso sobre las personas, los bienes, sistemas de prestación de servicios y sistemas naturales o sociales.

DAÑOS ESTRUCTURALES: Corresponde a los daños sobre los elementos que resisten las diferentes sollicitaciones sobre la construcción, la falla en uno o varios elementos estructurales puede acarrear el colapso parcial o total de esta.

DAÑOS NO ESTRUCTURALES: Corresponde al impacto sobre los elementos que, en caso de ser dañados o destruidos no afectan la estabilidad inmediata de la construcción. Generalmente se deben a una excesiva flexibilidad de la estructura, lo que significa que debido a la ocurrencia de un evento se pueden presentar deformaciones que no pueden ser absorbidas por este tipo de componentes, los daños estructurales más comunes son el agrietamiento de muros divisorios, el desprendimiento de fachadas y acabados, y la rotura de ventanas.

DEGRADACIÓN AMBIENTAL: Procesos que deterioran la base de recursos naturales o que afectan de manera adversa procesos naturales y ecosistemas, reduciendo su calidad y productividad. Los efectos potenciales son variados e incluyen la transformación de recursos en amenazas de tipo socio--natural.

DESARROLLO SOSTENIBLE: Proceso de transformaciones naturales, económico-sociales, culturales e institucionales, que tienen por objeto un aumento acumulativo y durable en la cantidad y calidad de bienes, servicios y recursos, unidos a cambios sociales tendientes a mejorar de forma equitativa la seguridad y la calidad de la vida humana y asegurar el mejoramiento de sus condiciones de vida, sin deteriorar el ambiente natural ni comprometer las bases de un desarrollo similar para las futuras generaciones.

DESASTRE: Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de una amenaza que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, en su producción e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento de la región impactada. Estas alteraciones están representadas de forma diversa y diferenciada por, entre otras, la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos, así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender a los afectados y restablecer niveles aceptables de bienestar social. Es la materialización del riesgo.

EFFECTOS DIRECTOS: Aquellos que mantienen relación de causalidad directa e inmediata con la ocurrencia de un fenómeno físico, representados usualmente por el daño en las personas, infraestructuras, sistemas productivos, bienes y capitales, servicios y ambiente, y por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas.

EFFECTOS INDIRECTOS: Aquellos que mantienen relación de causalidad con los efectos directos, representados usualmente por impactos concatenados o posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el ambiente. Por ejemplo, pérdidas de oportunidades productivas e ingresos futuros, aumentos en los niveles de pobreza, aumentos en costos de transporte debido a la pérdida de puentes y caminos, etc.

ELEMENTOS EN RIESGO: ver Elementos Expuestos.

ELEMENTOS EXPUESTOS: Es el contexto social y material representado por las personas y por los recursos, producción, infraestructura, bienes, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados directamente por la ocurrencia de un evento.

ELEMENTOS O MIEMBROS ESTRUCTURALES: Componentes del sistema estructural de la construcción (edificio, casa, puente, etc.).

EMERGENCIA: Estado caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una región, causada por un fenómeno o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y exige la atención de las instituciones del Estado encargadas de la atención y prevención de desastres, los medios de comunicación y de la comunidad en general. Representa la fase inmediata después del impacto de un fenómeno físico peligroso cuando las condiciones mínimas necesarias para la supervivencia y funcionamiento de la unidad social afectada no se satisfacen. Constituye una fase o componente de una condición de desastre pero no es, per se, una noción sustitutiva de desastre. Puede haber condiciones de emergencia sin un desastre.

ESCENARIOS DE RIESGO: Un análisis, presentado en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, y basado en métodos participativos, de las condiciones, causas y las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. Significa una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades, de los procesos sociales causales del riesgo y de los actores sociales que contribuyen a las condiciones de riesgo existentes. Como metodología ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención del riesgo; lo que supera la simple estimación de diferentes escenarios de consecuencias o efectos potenciales en un área geográfica.

ESTRUCTURA O SISTEMA ESTRUCTURAL: Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las diferentes sollicitaciones (ver definición más adelante) que se aplicaran sobre la construcción a lo largo de su vida útil.

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA: Es el proceso mediante el cual se determinan las diferentes posibilidades mediante las cuales un fenómeno físico se puede manifestar sobre un área determinada, considerando para cada evento el grado de severidad, la frecuencia de ocurrencia y la distribución espacial estimada de la fuerza del fenómeno. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD: Proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular.

EVENTO: Cada posible manifestación física (u ocurrencia) de la amenaza, se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. Es el registro en el tiempo y el espacio de un fenómeno que

caracteriza una amenaza. Es importante diferenciar entre un evento potencial y el evento mismo, una vez éste se presenta.

EXPOSICIÓN: Ver elementos expuestos.

GESTIÓN DEL RIESGO: Proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas de intervención orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de las diferentes amenazas sobre la población, la infraestructura, los sistemas productivos, los bienes y servicios, y el ambiente. Acciones integradas de reducción, previsión y control de riesgos y las acciones particulares para hacer frente al evento, entre las que se cuentan preparación y atención de emergencias y, planes y políticas para la recuperación, rehabilitación y reconstrucción tras el impacto.

INTENSIDAD: Medida cuantitativa o cualitativa de la severidad de un fenómeno en un sitio específico.

INTERVENCIÓN CORRECTIVA: Proceso que pretende reducir los niveles de riesgo existentes en la sociedad o en un sub-componente de la sociedad, producto de procesos históricos de ocupación del territorio, de fomento a la producción y la construcción de infraestructuras y edificaciones, entre otras cosas. Reacciona a, y compensa el riesgo ya construido en la sociedad. Ejemplos de acciones o instrumentos de la gestión correctiva incluyen la construcción de diques para proteger poblaciones ubicadas en las zonas de inundación, el refuerzo de edificios para dotarlos de niveles adecuados de protección sísmica resistente o contra huracanes, cambios en el patrón de cultivos para adecuarse a condiciones ambientales adversas, reforestación de cuencas para disminuir procesos de erosión, deslizamiento e inundación.

INTERVENCIÓN PROSPECTIVA: Significa la anticipación o previsión de riesgos futuros que pueden asociarse con nuevos procesos de desarrollo e inversión, tomando las medidas para garantizar que nuevos factores de riesgo no surjan con las iniciativas o proyectos de construcción, producción, circulación, comercialización, etc. La intervención prospectiva debe verse como un componente integral de la planificación del desarrollo y del ciclo de planificación de nuevos proyectos, sean estos desarrollados por gobierno, sector privado o sociedad civil. El objetivo último de este tipo de intervención es evitar nuevos riesgos, garantizar adecuados niveles de sostenibilidad de las inversiones, y así evitar tener que aplicar medidas costosas de intervención correctiva en el futuro.

LÍNEAS (REDES) VITALES: Infraestructura básica o esencial. Energía: presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos. Transporte: redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos. Agua: plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción. Comunicaciones: redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

MAGNITUD: Medida de la intensidad del fenómeno.

MITIGACIÓN DEL RIESGO: Planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo existente. La mitigación asume que en muchas circunstancias no es posible, ni factible controlar el riesgo totalmente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias sino más bien reducirlos a niveles aceptables y factibles. La mitigación de riesgos puede operar en el contexto de la reducción o eliminación de riesgos existentes, o aceptar estos riesgos y, a través de los preparativos, los sistemas de alerta (temprana), etc. buscar disminuir las pérdidas y daños que ocurrirían con la incidencia de un evento peligroso.

PÉRDIDA: Valor adverso de orden económico, social o ambiental alcanzado por una variable durante un tiempo de exposición específico.

PLAN DE CONTINGENCIA: Procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la manifestación o la inminencia de un fenómeno peligroso particular para el cual se tienen escenarios definidos.

PLAN DE EMERGENCIAS: Definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y capacitación a través de ejercicios de simulación y revisión de procedimientos, con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso.

PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO: Conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción, previsión y control de riesgos, la preparación para la atención de la emergencia y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población y se aumenta la sostenibilidad.

PREVENCIÓN DEL RIESGO: Medidas y acciones dispuestas con anticipación que buscan prevenir nuevos riesgos o impedir que aparezcan. Significa trabajar en torno a amenazas y vulnerabilidades factibles. Visto de esta manera, la prevención de riesgos se refiere a la intervención prospectiva del Riesgo, mientras que la mitigación de riesgos se refiere a la intervención correctiva. Dado que la prevención absoluta rara vez es posible, la prevención tiene una connotación semiutópica y debe ser vista a la luz de consideraciones sobre el riesgo aceptable, el cual es socialmente determinado.

PRONÓSTICO: Cuando se aplica a los fenómenos físicos se refiere a la determinación de la probabilidad de que un fenómeno físico se manifieste con base en: el estudio de su mecanismo físico generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos precursores del fenómeno peligroso; a mediano plazo, basado en la información estadística de parámetros indicadores de la potencialidad del fenómeno, y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable o creíble dentro de un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área afectable.

RECUPERACIÓN: Proceso de restablecimiento de condiciones adecuadas y sostenibles de vida mediante la rehabilitación, reparación, reconstrucción o reemplazo de la infraestructura, bienes y servicios destruidos, interrumpidos o deteriorados en el área afectada, y la reactivación o impulso del desarrollo económico y social de la comunidad.

REDUCCIÓN DEL RIESGO: Medidas de intervención correctivas y/o prospectivas dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existente o de nuevos riesgos que se puedan generar. Son medidas de prevención-mitigación y preparación, que se adoptan en forma anticipada a la manifestación de un fenómeno físico con el fin de: a) evitar que se presente un fenómeno peligroso, reducir su peligrosidad o evitar la exposición de los elementos ante el mismo; b) disminuir sus efectos sobre la población, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente, reduciendo la vulnerabilidad que exhiben.

RESILIENCIA: Capacidad de un ecosistema, sociedad o comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno peligroso.

RESPUESTA: Etapa de la atención de emergencias que corresponde a la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos

casos, ya han sido anteceditas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población.

RIESGO: Son las consecuencias causadas por la manifestación física de un evento futuro. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

RIESGO ACEPTABLE: Posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente. Es el nivel de probabilidad de una consecuencia dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación, ante posibles fenómenos peligrosos.

RIESGO COLECTIVO: Posibilidad o peligro de sufrir daños o pérdidas. Es la probabilidad de que se presente un determinado nivel de efectos adversos de carácter económico, social o ambiental en un sitio particular y durante un período de tiempo definido, cuya magnitud y severidad son tales que afectarían la comunidad en general. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

RIESGO ESTRUCTURAL: Se acepta, en general, y así se recoge en algunas normativas, que los edificios se diseñen para resistir eventos de magnitud importante (e.g. sismos fuertes) sin colapso, aun cuando se produzcan daños estructurales severos; eventos moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales; y eventos leves sin daño.

RIESGO EXTENSIVO: Corresponde al riesgo de desastres menores pero frecuentes (e.g. deslizamientos, inundaciones), los cuales en cada ocurrencia impactan un bajo número de elementos y producen comparativamente, pocos daños.

RIESGO INTENSIVO: Corresponde al riesgo de desastres poco frecuentes pero de potencial catastrófico (e.g. huracanes, sismos, tsunamis), los cuales pueden impactar de manera simultánea varios centros urbanos y un número importante de elementos expuestos, produciendo pérdidas millonarias sobre bienes e infraestructura y desbordando la capacidad local (y en ocasiones nacional) de los organismos de respuesta ante emergencias.

SISTEMA DE GESTIÓN DEL RIESGO: Organización abierta, dinámica y funcional de instituciones y su conjunto de orientaciones, normas, recursos, programas y actividades de carácter técnico-científico, de planificación, de preparación para emergencias y de participación de la comunidad, cuyo objetivo es la incorporación de las prácticas y procesos de la gestión de riesgos en la cultura y en el desarrollo económico y social de las comunidades.

SOLICITACIONES: Son las fuerzas u otras acciones que afectan la estructura debido al peso propio de la misma, de los elementos no estructurales, de sus ocupantes y sus posesiones, de efectos ambientales tales como el viento o el sismo, de los asentamientos diferenciales y de los cambios dimensionales causados por variaciones en la temperatura o en los materiales. En general corresponden a todo lo que pueda afectar la estructura.

VULNERABILIDAD: Factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado o de ser susceptible a sufrir un daño.

Anexo 4

Uso del módulo LEC en la plataforma DesInventar.net

La plataforma DesInventar.net es, una herramienta de código abierto, distribuida bajo una licencia basada en la Licencia Apache 2, que según palabras de sus desarrolladores es menos restrictiva que las Licencias GNU y FreeBSD. Emplea para su desarrollo los lenguajes HTML 4.01, Oracle Java, Javascript y diversos motores de bases de datos entre los que se encuentran entre otros Oracle MySQL, Microsoft SQL Server y PostgreSQL.

A continuación se presentan las diferentes pantallas del proceso de evaluación retrospectiva del riesgo empleando el modulo desarrollado.

La Figura A4-1 presenta el menú principal a partir del cual se pueden acceder los diferentes pasos del proceso.

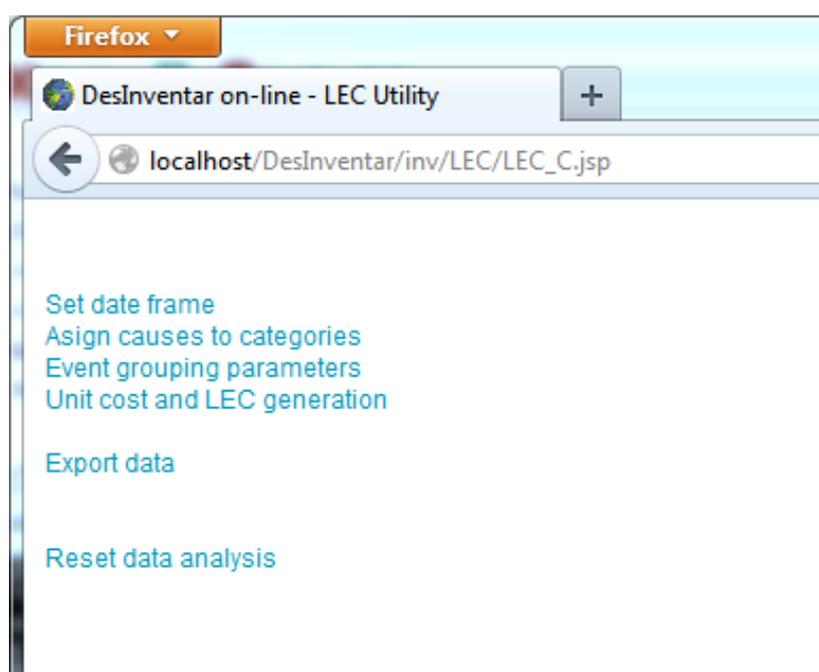


Figura A4-1 Menú principal del módulo LEC_C

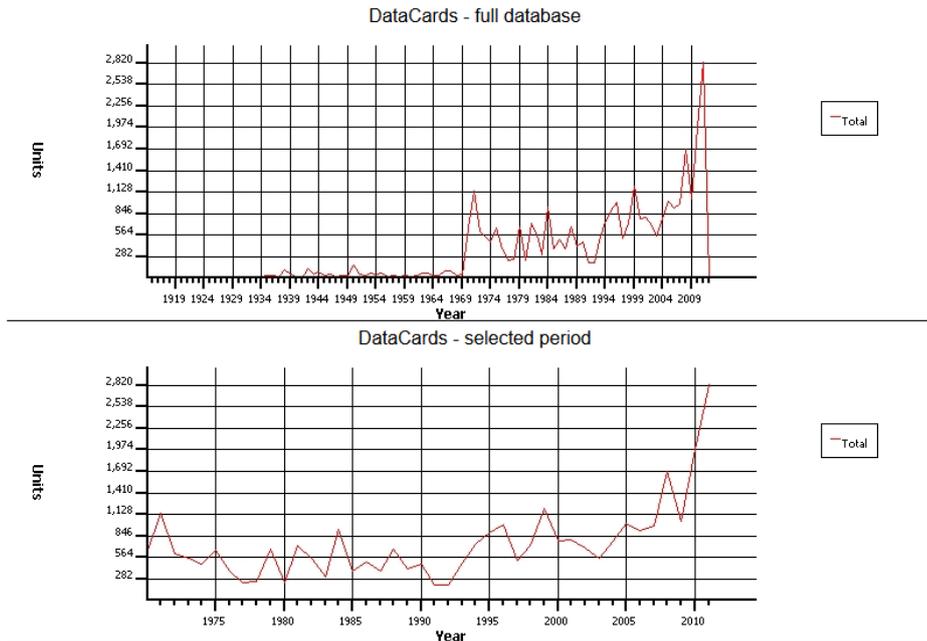
La Figura A4-2 muestra la pantalla para la selección del periodo de análisis, en este paso se pueden retirar del análisis periodos anormales sin la necesidad de eliminar registros o duplicar la base de datos.

[go back to LEC menu](#)

[continue to next step](#)

Starting year: Ending Year:

Any change will reset the analysis !!!



Year	Number of DataCards	Total injured	Total death	Total affected houses	Total destroyed houses
1914	1	0	0	0	0
1916	1	0	0	0	0
1917	18	42	9	593	56
1920	1	0	0	0	0
1921	7	0	4	0	5

Figura A4-2 Selección del periodo de análisis

La Figura A4-3 permite la definición de las categorías de amenazas naturales más relevantes para la región de estudio.

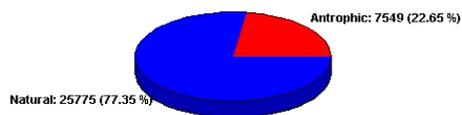
[go back to previous step](#)

[go back to LEC menu](#)

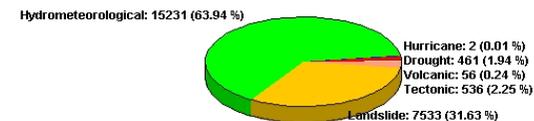
Category	Description	Number of DataCards	Injured (Total)	Deaths (Total)	Affected houses (Total)	Destroyed houses (Total)
Anthropic events	Human made events	7426	57479	3549	145593	21052
Drought	Drought, heat wave, ...	461	0	2	340	0
Hurricane	Hurricanes, Cyclones, ...	2	18	0	527	2
Hydrometeorological	Storms, rains, floods, ...	15231	6343	3551	1073390	95367
Landslide	Landslides, ...	7533	2705	5547	85324	21776
Tectonic	Earthquakes, tsunamis	536	10078	2381	76698	53632
Volcanic	Eruptions, ...	56	5068	24456	102	5447

The default category has to be assigned to any non-natural hazard. This category will be considered as the anthropic events.

DataCards



DataCards by category



[Mor](#)
[Mo](#)
[More g](#)
[More :](#)

Figura A4-3 Definición de categorías

La Figura A4-4 muestra la pantalla donde se asignan las diferentes causas de los sucesos registrados a las categorías previamente definidas.

[go back to previous step](#)

[go back to LEC menu](#)

[continue to next step](#)

Cause	Cause (English)	N DataCards	Total Injured	Total Deaths	Total Affected Houses	Total Destroyed Houses	Current Category	New Category
ACCIDENT	ACCIDENT	98	365	593	0	0		default
ALLUVION	ALLUVION	1	15	4	0	0		default
AVALANCHE	AVALANCHE	25	6	14	1195	196	Landslide	Landslide
BIOLOGICAL	BIOLOGICAL	98	210	0	0	0		default
COASTLINE	COASTLINE	6	0	0	0	0		default
CYCLONE	CYCLONE	5	4	9	1478	232	Hydrometeorological	Hydrometeorological
DROUGHT	DROUGHT	447	0	0	340	0	Drought	Drought
EARTHQUAKE	EARTHQUAKE	531	9044	2119	75669	52020	Tectonic	Tectonic
ELECTRIC STORM	ELECTRIC STORM	129	206	131	100	20	Hydrometeorological	Hydrometeorological
EPIDEMIC	EPIDEMIC	85	28136	176	0	0		default
ERUPTION	ERUPTION	56	5068	24456	102	5447	Volcanic	Volcanic
EXPLOSION	EXPLOSION	314	1860	886	819	220		default
#280625-4320-4033-81cb-8feb19	#280625-4320-4033-81cb-8feb19	2	6	9	0	0		default
#b1184be-1912-46c3-b4de-220117	#b1184be-1912-46c3-b4de-220117	14	0	0	367	25		default
FIRE	FIRE	1973	1851	597	1205	8452		default
FLASH FLOOD	FLASH FLOOD	774	1706	1512	15980	9585	Hydrometeorological	Hydrometeorological
FLOOD	FLOOD	12915	3858	1572	1048736	81864	Hydrometeorological	Hydrometeorological
FOG	FOG	3	0	0	0	0		default
FOREST FIRE	FOREST FIRE	843	33	55	177	536		default
FROST	FROST	55	0	0	0	0	Hydrometeorological	Hydrometeorological
HAIL STORM	HAIL STORM	61	4	0	1051	37	Hydrometeorological	Hydrometeorological
HEAT WAVE	HEAT WAVE	14	0	2	0	0	Drought	Drought
INTOXICACION	INTOXICACION	354	15005	373	0	0		default
LANDSLIDE	LANDSLIDE	7508	2699	5533	84129	21580	Landslide	Landslide
LEAK	LEAK	28	205	13	0	0		default
OTHER	OTHER	35	0	4	165	222		default
PANIC	PANIC	11	344	35	0	0		default
PLAGUE	PLAGUE	357	501	21	0	7		default
POLLUTION	POLLUTION	195	3068	25	4	0		default
RAINS	RAINS	871	43	176	1256	610	Hydrometeorological	Hydrometeorological
SEDIMENTATION	SEDIMENTATION	12	0	0	0	0		default
SNOW STORM	SNOW STORM	1	0	0	0	0	Hydrometeorological	Hydrometeorological
STORM	STORM	275	516	113	3021	1410	Hydrometeorological	Hydrometeorological
STRONG WIND	STRONG WIND	2665	1093	136	141632	11484		default
STRUCTURE	STRUCTURE	332	4787	622	1224	106		default
SURGE	SURGE	145	6	38	1768	1609	Hydrometeorological	Hydrometeorological
TORNADO	TORNADO	2	18	0	527	2	Hurricane	Hurricane
TSUNAMI	TSUNAMI	5	1034	262	1029	1612	Tectonic	Tectonic

In the following process only events assigned to any category different than default will be used
 Any changes will reset the analysis !!!

[define LEC Categories](#)

[More graphics \(Causes, PIE\)](#)
[More graphics \(Causes, XY\)](#)
[More graphics \(Categories, PIE\)](#)
[More graphics \(Categories, XY\)](#)

Figura A4-4 Asignación de causas a categorías

La Figura A4-5 presenta el formulario que permite definir los parámetros de agrupación temporal y espacial, estos parámetros permitirán agrupar registros individuales en eventos.

[go back to previous step](#)

[go back to LEC menu](#)

Execution time was 2149907ms.

Trigger category	Triggered category	Time lapse
Drought	Drought	1
Hurricane	Hurricane	1
Hydrometeorological	Hydrometeorological	1
Landslide	Landslide	1
Tectonic	Tectonic	1
Volcanic	Volcanic	1
Tectonic	Tectonic	

Selecting an existing relation will update the TimeLapse value
 Any change will reset the analysis !!!

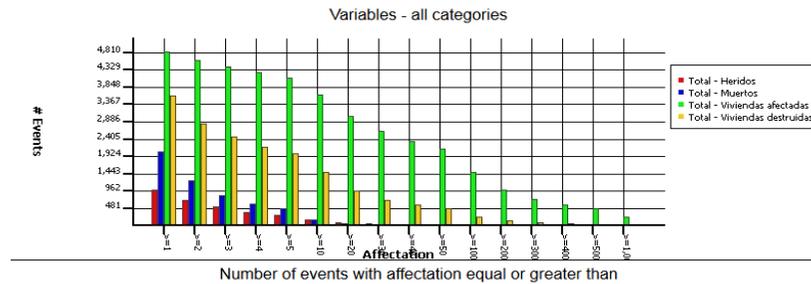
Global Please be patient this can take a long time, when finish a message box will be displayed indicating the process time

Before Aggrupation

Category	Events (Count)	Injured (Sum)	Death (Sum)	Afected Houses (Sum)	Destroyed Houses (Sum)
Drought	461	0.0	2.0	340.0	0.0
Hurricane	2	18.0	0.0	527.0	2.0
Hydrometeorological	15231	6343.0	3551.0	1073390.0	95367.0
Landslide	7533	2705.0	5547.0	85324.0	21776.0
Tectonic	536	10078.0	2381.0	76698.0	53632.0
Volcanic	56	5068.0	24456.0	102.0	5447.0

After Aggrupation

Category	Events (Count)	Injured (Sum)	Death (Sum)	Afected Houses (Sum)	Destroyed Houses (Sum)
Drought	311	0.0	2.0	340.0	0.0
Hurricane	2	18.0	0.0	527.0	2.0
Hydrometeorological	9382	6343.0	3551.0	1073390.0	95367.0
Landslide	5106	2705.0	5547.0	85324.0	21776.0
Tectonic	156	10078.0	2381.0	76698.0	53632.0
Volcanic	33	5068.0	24456.0	102.0	5447.0



[More graph](#)

Figura A4-5 Definición de parámetros de agrupación temporal y espacial

Finalmente, la Figura A4-6 muestra el resumen del análisis, donde es posible observar la evaluación económica de las pérdidas causadas por los diferentes desastres junto con la curva de excedencia de pérdidas retrospectiva o empírica.

[go back to previous step](#)

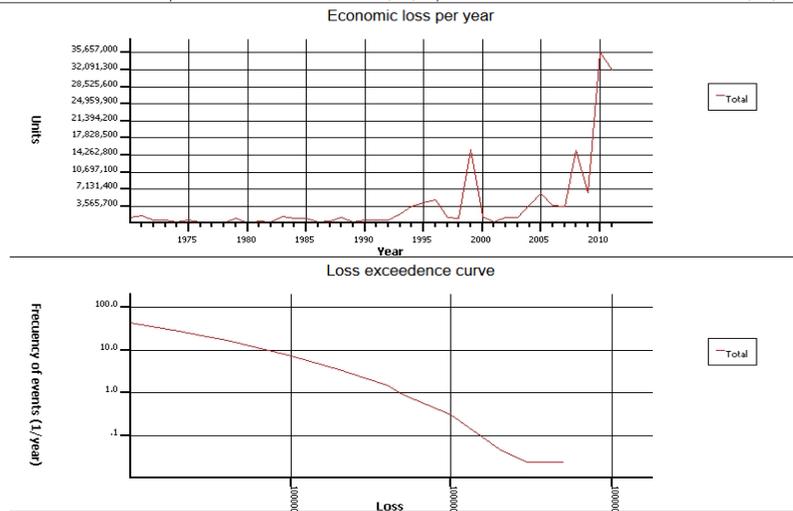
[go back to LEC menu](#)

	Variable	Current unit cost	New Unit Cost
1	Viviendas_Afectadas	100	100
2	Viviendas_Destruidas	200	200
3	Hospitales	0	0
4	Escuelas	0	0
5	Cultivos	0	0
6	Ganado	0	0
7	Vias	0	0

Any change will reset the current economic valuation !!!

Estimate economic loss of the events

Category	No. Events (Total)	Events per year (Avg)	Economic Loss (Total)	Economic Loss per year (Avg)	Economic Loss per ev
Drought	311	7	34,200	914	
Hurricane	2	0	53,100	1,264	
Hydrometeorological	9,382	223	126,617,000	3,014,690	
Landslide	5,106	122	12,918,200	307,576	
Tectonic	156	4	18,409,400	438,319	
Volcanic	33	1	1,099,900	26,188	
TOTAL 42 years	14,990	356	159,131,800	3,788,852	



[More graphi](#)

Figura A4-6 Evaluación económica y generación de la LEC retrospectiva

Anexo 5

Otros resultados obtenidos

Se adjunta de manera digital en un (1) CD los resultados obtenidos para cada país evaluado en el desarrollo del convenio de cooperación de CIMNE con UN-ISDR para el informe GAR13 (CIMNE et al. 2013a). Este anexo contiene 138 páginas de evaluaciones realizadas a los siguientes países: Argentina, Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, India – Orissa, India - Tamil Nadu, Indonesia, República Islámica de Irán, Reino Hachemita de Jordania, República Democrática Popular Lao, Mozambique, Panamá, Perú, República de Yemen, Sri Lanka, Venezuela, Vietnam.

ANEXO 5.
OTROS RESULTADOS

A	ARGENTINA	210
B	BOLIVIA	216
C	CHILE	222
D	COSTA RICA	228
E	ECUADOR	234
F	EL SALVADOR	240
G	GUATEMALA.....	246
H	GUYANA	252
I	HONDURAS	257
J	INDIA - ORISSA	263
K	INDIA – TAMIL NADU.....	269
L	INDONESIA	275
M	IRÁN	281
N	JAMAICA.....	287
O	JORDANIA.....	293
P	LAOS.....	298
Q	MOZAMBIQUE.....	303
R	PANAMÁ	308
S	PERÚ.....	314
T	SRI LANKA	320
U	VENEZUELA.....	326
V	VIETNAM	332
W	YEMEN.....	337

A Argentina

A.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Argentina contiene registros que datan desde 1970 hasta 2009. La Figura A-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

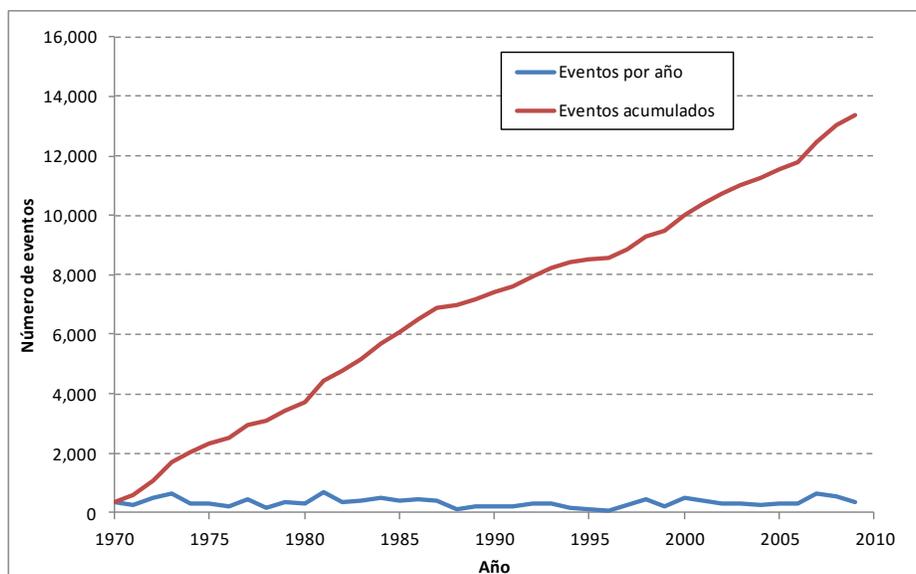


Figura A-1: Número de registros por año

El comportamiento mostrado en términos de número de registros anual, permite utilizar la totalidad del intervalo temporal como periodo de análisis para la base de datos.

A.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.

- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla A-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	93	38	49	21	53
Hidrometeorológicos	12367	14711	2116	130616	40350
Sequía	708	1966	23	400	0
Tectónicos	148	388	98	9674	9841
Volcánicos	39	0	0	0	0

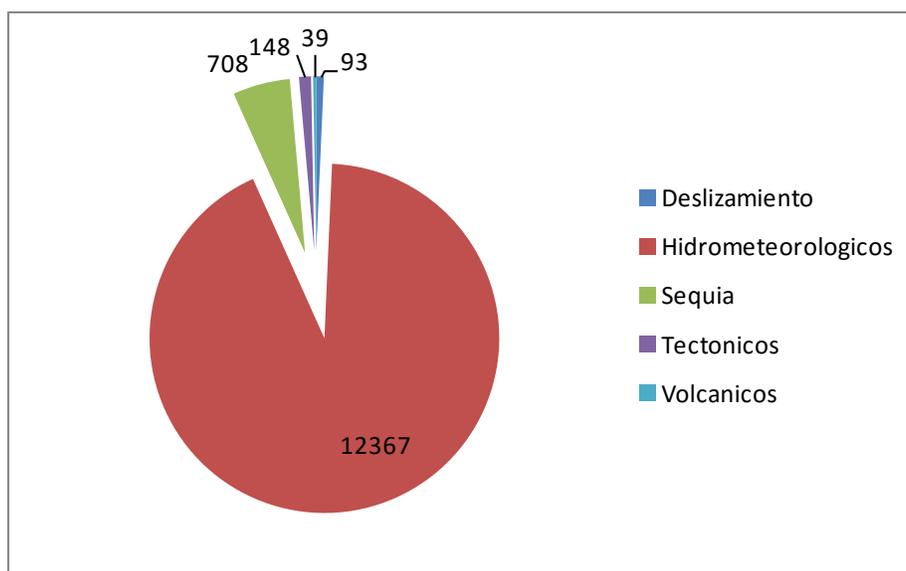


Figura A-2: Distribución de la afectación total por categoría

A.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es en el caso de Argentina a nivel municipal, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparán a nivel regional (por provincias, campo “level0” de la base de datos). Se agruparán los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla A-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla A-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla A-3.

Tabla A-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	60	37	42	15	53
Hidrometeorológicos	4098	14712	2123	130622	40350
Sequía	279	1966	23	400	0
Tectónicos	63	388	98	9674	9841
Volcánicos	19	0	0	0	0

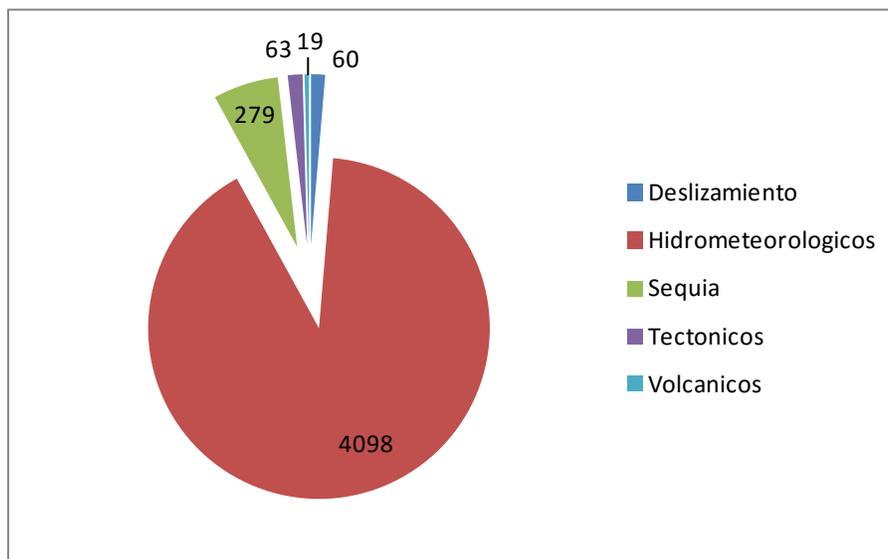


Figura A-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

A.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla A-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² [USD]	434	434	434	434	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,879	27,323	45,539	29,145	113

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla A-4 y a la afectación presentada en la Tabla A-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla A-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla A-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	60	2	1.720.229	43.006	28.67
Hidrometeorológicos	4.098	102	3.233.282.731	80.832.068	788.99
Sequía	279	7	2.039.293	50.982	7.309
Tectónicos	63	2	318.592.896	7.964.822	5.057.030
Volcánicos	19	0	66.355	1.659	3.492
TOTAL 40 años	4.525	113	3.558.962.699	88.974.067	786.511

Las Figuras A-4 y A-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

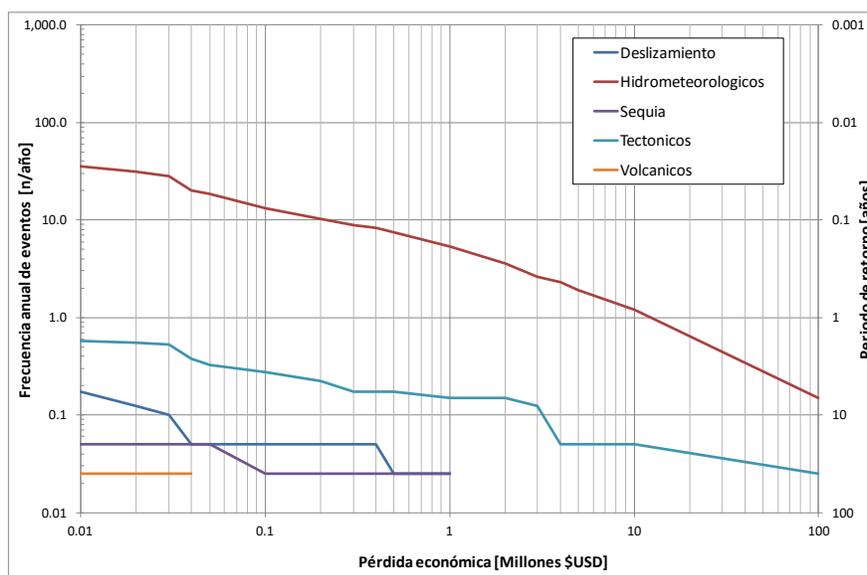


Figura A-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

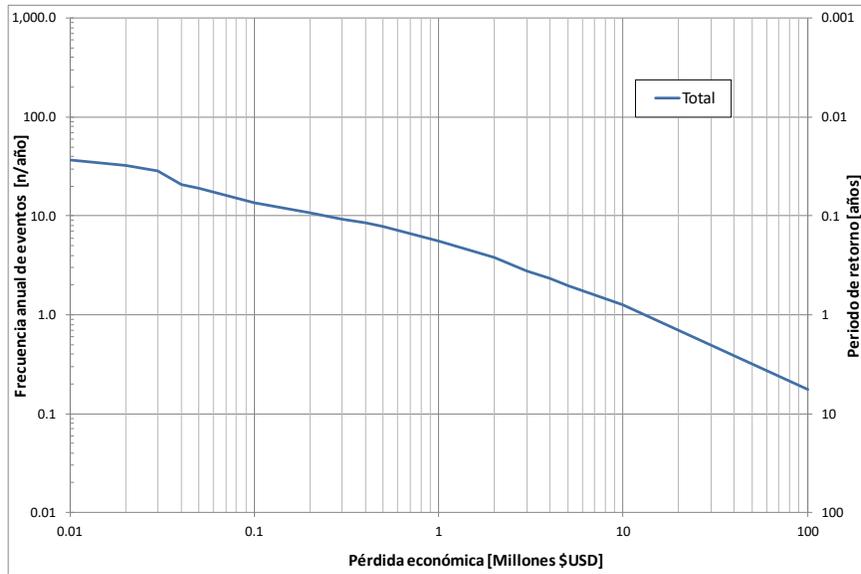


Figura A-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

B Bolivia

B.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Bolivia contiene registros que datan desde 1970 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó la totalidad de este periodo para ejecutar el análisis. La Figura B-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

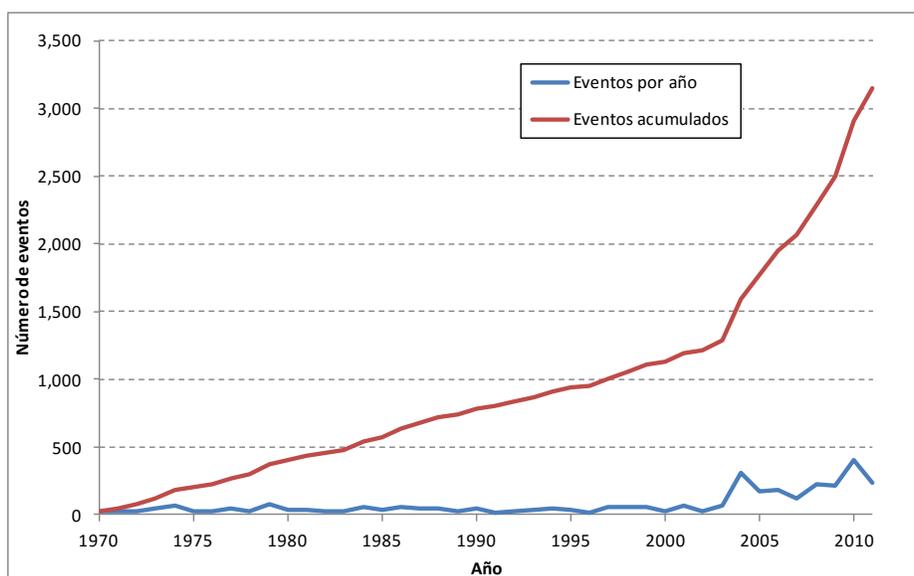


Figura B-1: Número de registros por año

B.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla B-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	385	276	389	1976	1671
Hidrometeorológicos	2374	690	890	7195	3812
Sequía	354	6	47	51	7
Tectónicos	31	74	75	2262	1584
Volcánicos	1	0	0	3	0

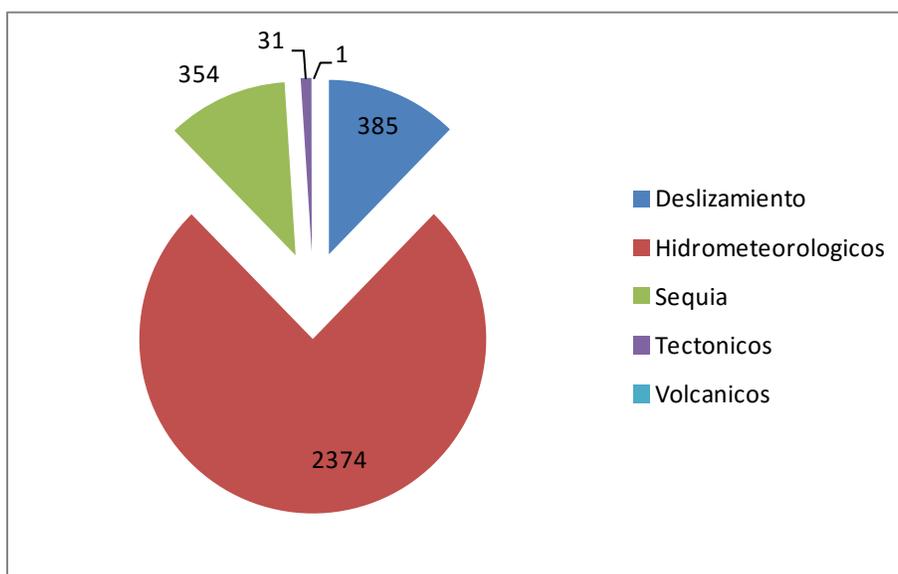


Figura B-2: Distribución de la afectación total por categoría

B.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Bolivia, a nivel de Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo "level1" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla B-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla B-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla B-3.

Tabla B-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	274	255	267	1649	1411
Hidrometeorológicos	1916	711	1012	7522	4072
Sequía	283	6	47	51	7
Tectónicos	28	74	75	2262	1584
Volcánicos	1	0	0	3	0

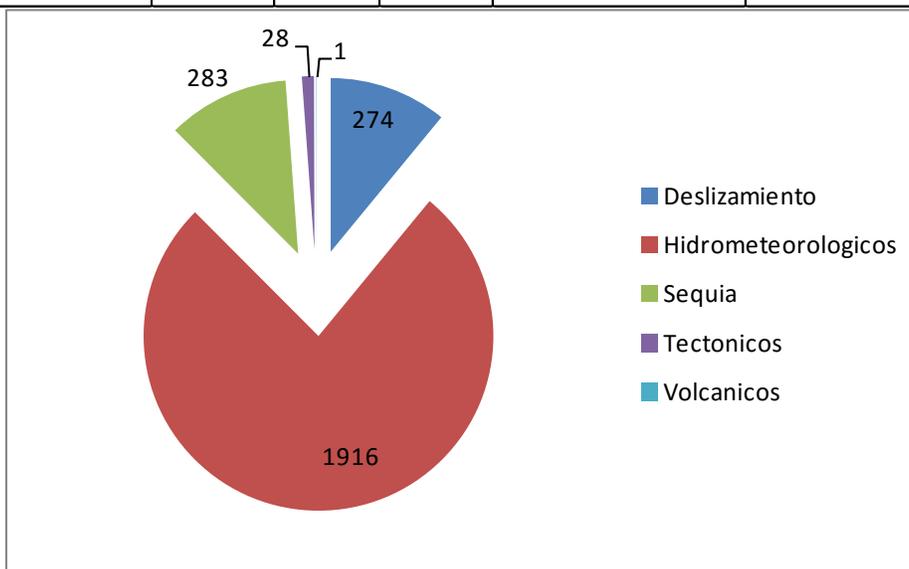


Figura B-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

B.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla B-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	52.34	52.34	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	331	331	331	331	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,336	24,283	34,795	22,269	60

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla B-4 y a la afectación presentada en la Tabla B-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla B-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla B-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	274	7	43.716.901	1.040.879	160
Hidrometeorológicos	2	46	158.395.465	3.771.321	83
Sequía	283	7	391	9	1
Tectónicos	28	1	49.288.566	1.173.537	1.760.306
Volcánicos	1	0	13	310	13
TOTAL 42 años	3	59	252.070.356	6.001.675	101

Las Figuras B-4 y B-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

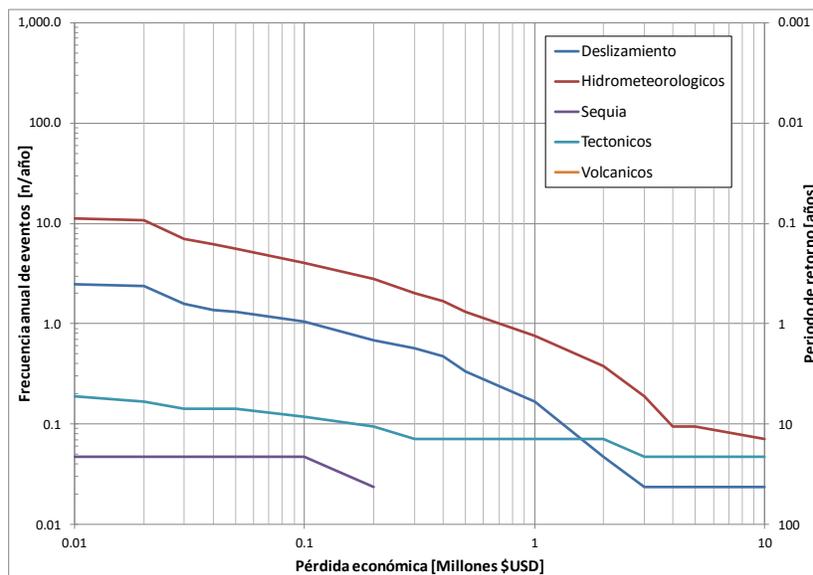


Figura B-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

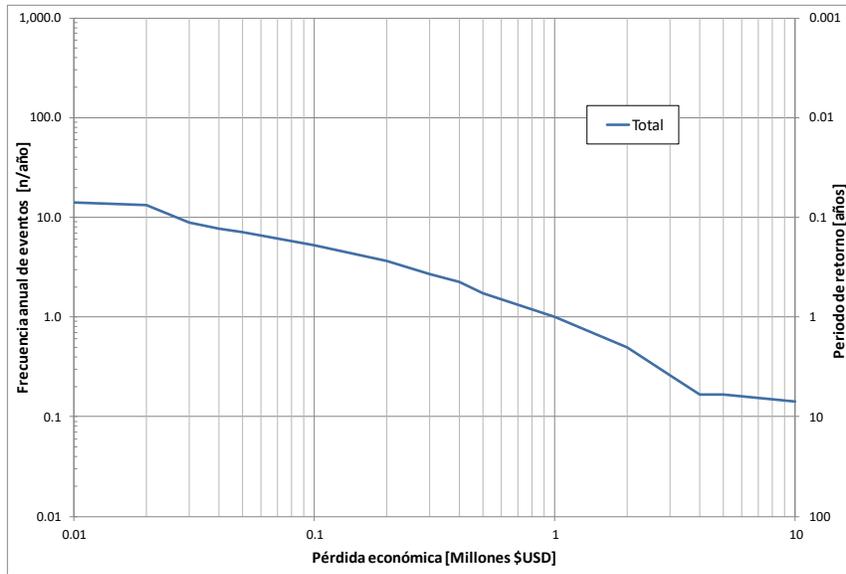


Figura B-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

C Chile

C.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Chile contiene registros que datan desde 1970 hasta 2012. Debido a que el año 2012 contiene registros incompletos, fue excluido del periodo de análisis seleccionado. La Figura C-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

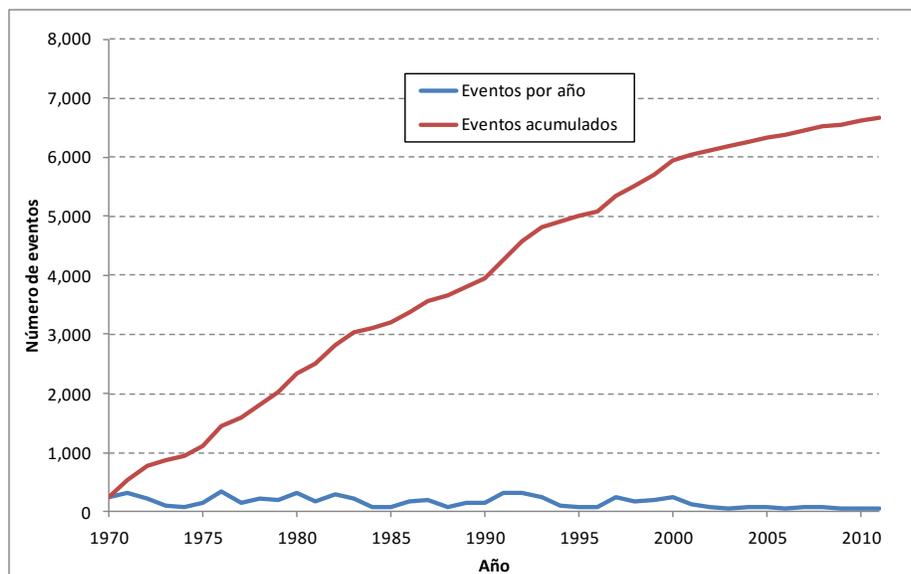


Figura C-1: Número de registros por año

C.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla C-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	334	195	228	6269	639
Hidrometeorológicos	5048	16158	794	265337	34877
Sequía	816	5	0	0	10
Tectónicos	431	2372	925	1295780	575533
Volcánicos	39	49	22	0	0

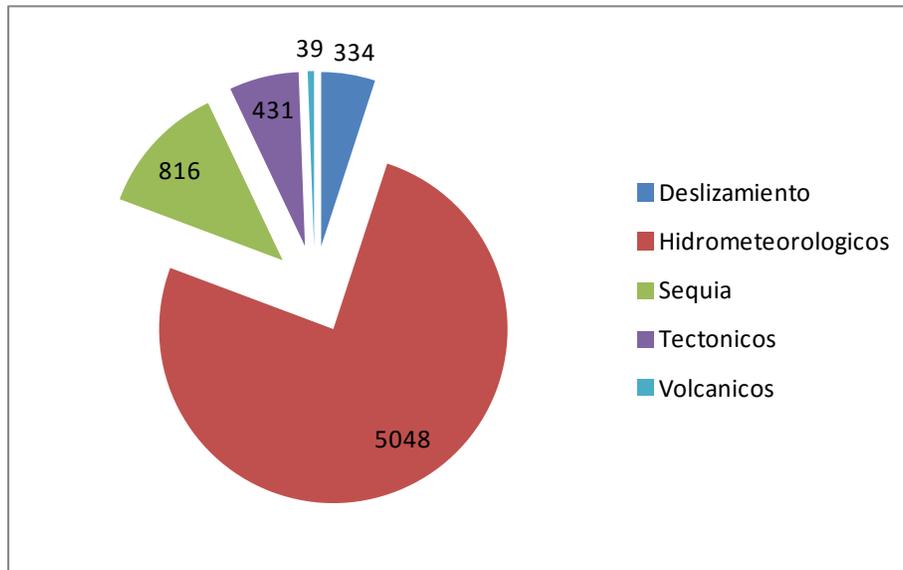


Figura C-2: Distribución de la afectación total por categoría

C.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es en el caso de Chile a nivel de comuna, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por provincias, campo “level1” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla C-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla C-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla C-3.

Tabla C-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	236	169	200	6168	580
Hidrometeorológicos	2932	16184	821	265438	34936
Sequía	334	5	0	0	10
Tectónicos	194	2372	926	1295780	575533
Volcánicos	27	49	22	0	0

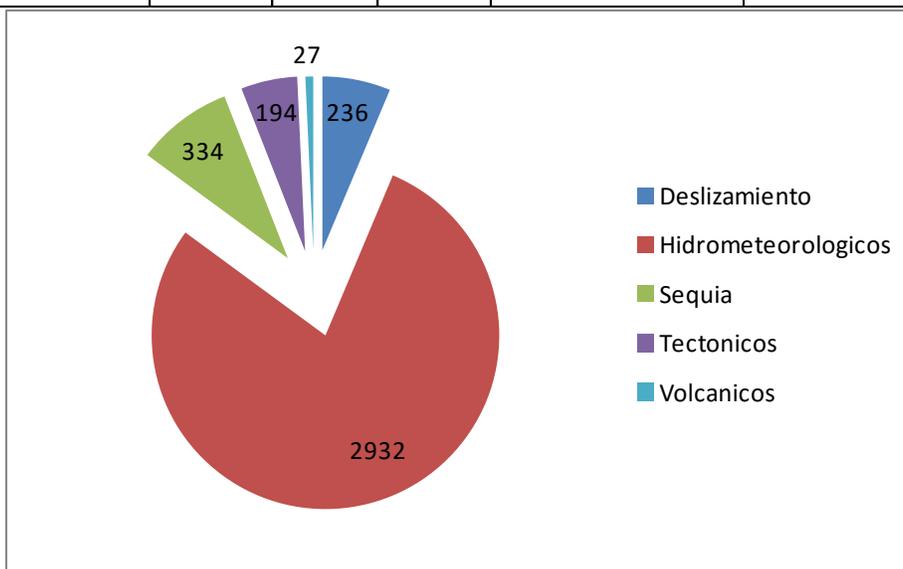


Figura C-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

C.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla C-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	477	477	477	477	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	5,368	30,061	50,102	32,066	95

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla C-4 y a la afectación presentada en la Tabla C-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla C-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla C-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	236	6	53.002.287	1.261.959	224.586
Hidrometeorológicos	2.932	70	2.804.786.272	66.780.626	956.612
Sequía	334	8	300.61	7.157	900
Tectónicos	194	5	24.253.360.793	577.460.971	125.017.324
Volcánicos	27	1	1.058.985	25.214	39.222
TOTAL 42 años	3.723	88	27.112.508.947	645.535.927	7.282.436

Las Figuras C-4 y C-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

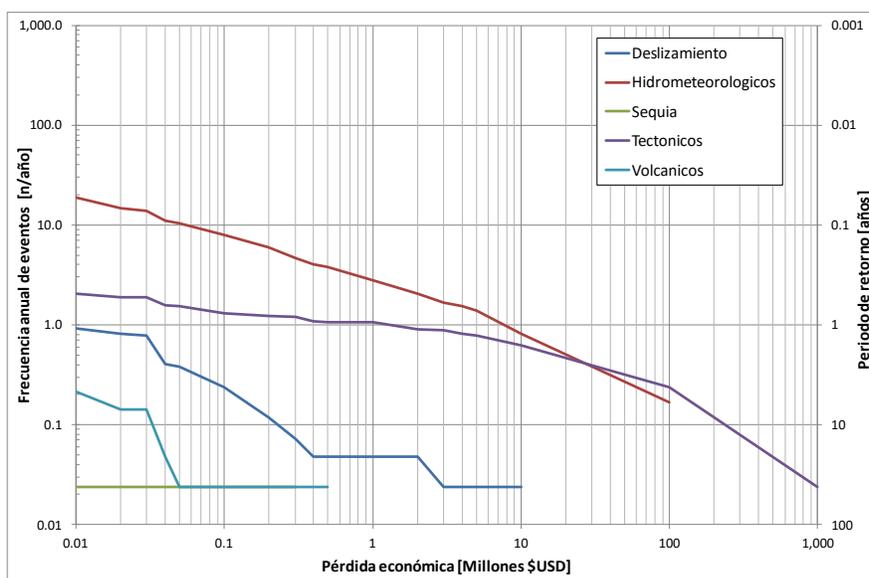


Figura C-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

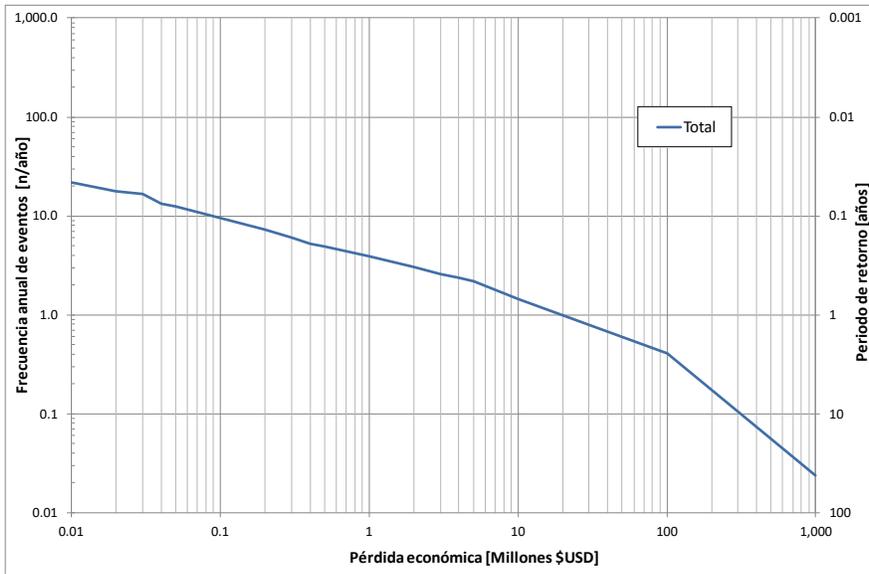


Figura C-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

D Costa Rica

D.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Costa Rica contiene registros que datan desde 1968 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1970 - 2012. La Figura D-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

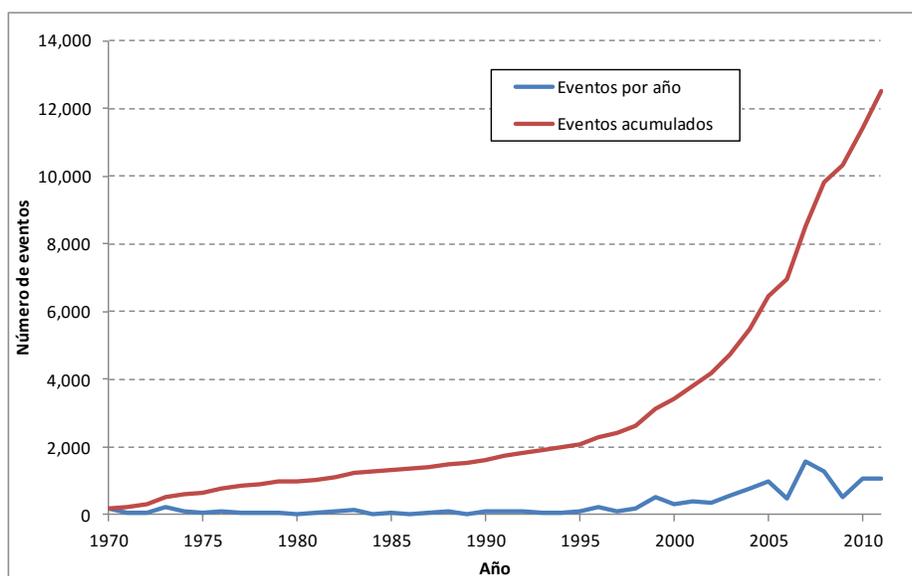


Figura D-1: Número de registros por año

D.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla D-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	3143	21	210	3212	402
Hidrometeorológicos	8596	49	200	50011	2076
Huracán	43	0	1	322	20
Sequía	452	0	0	0	0
Tectónicos	237	0	80	10350	5611
Volcánicos	29	2	3	7	0

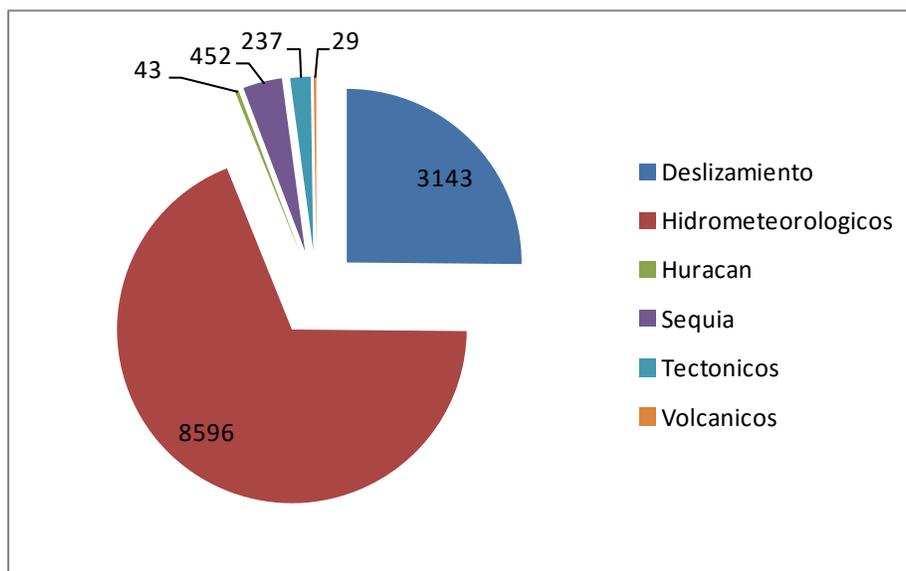


Figura D-2: Distribución de la afectación total por categoría

D.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Costa Rica, a nivel de Cantón, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparon a nivel regional (por provincias, campo “level0” de la base de datos). Se agruparon los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla D-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla D-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla D-3.

Tabla D-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	860	14	171	1152	282
Hidrometeorológicos	2649	56	227	51612	2190
Huracán	37	0	3	781	26
Sequía	74	0	0	0	0
Tectónicos	60	0	90	10350	5611
Volcánicos	17	2	3	7	0

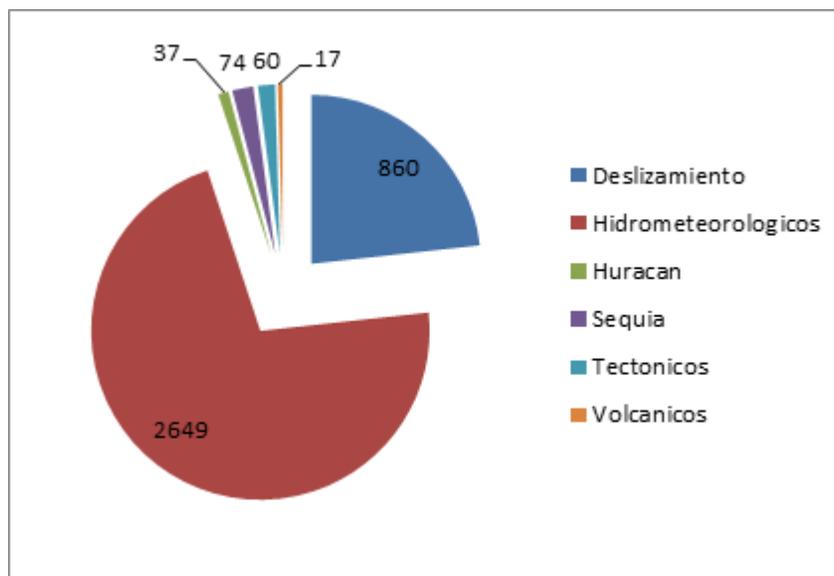


Figura D-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

D.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla D-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	423	423	423	423	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,756	26,633	44,388	28,408	103

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla D-4 y a la afectación presentada en la Tabla D-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla D-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla D-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	860	20	20.792.658	495.063	24.178
Hidrometeorológicos	2.649	63	377.373.049	8.985.073	142.459
Huracán	37	1	5.053.126	120.313	136.571
Sequía	74	2	0	0	0
Tectónicos	60	1	196.935.768	4.688.947	3.282.263
Volcánicos	17	0	57.072	1.359	3.357
TOTAL 42 años	3.697	88	600.211.673	14.290.754	162.351

Las Figuras D-4 y D-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

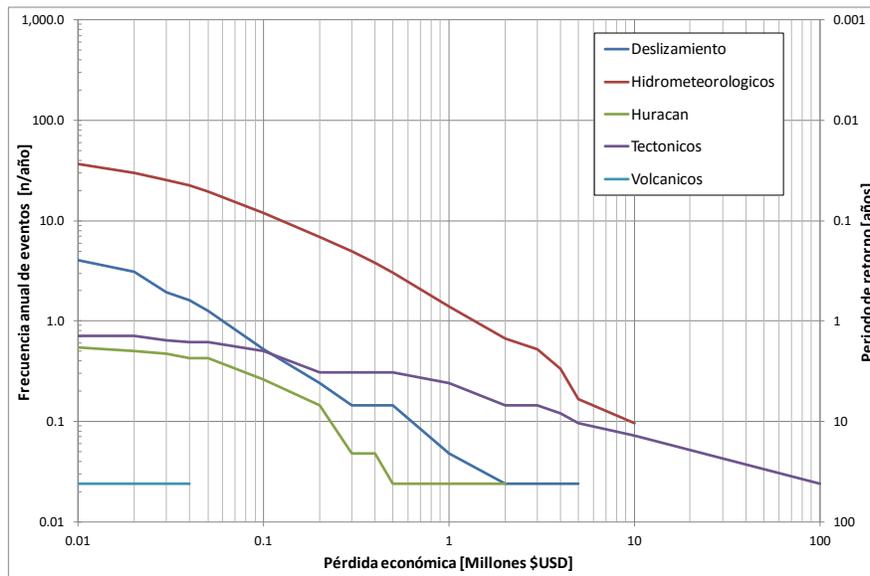


Figura D-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

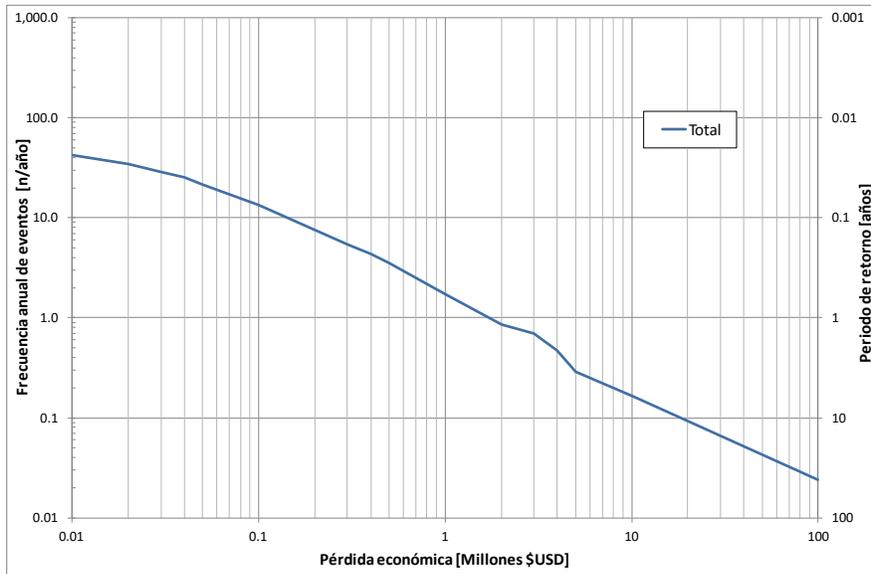


Figura D-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

E Ecuador

E.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Ecuador contiene registros que datan desde 1970 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1980 - 2011. La Figura E-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

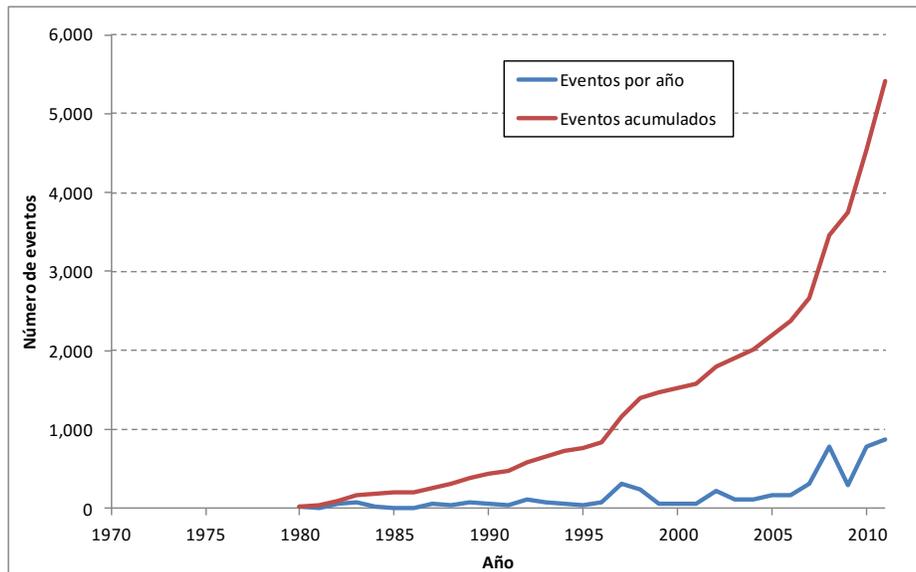


Figura E-1: Número de registros por año

E.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla E-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1667	523	1296	3812	2104
Hidrometeorológicos	3130	455	977	53527	6796
Sequía	144	0	0	0	0
Tectónicos	149	378	364	2508	1968
Volcánicos	327	6	5	2312	10

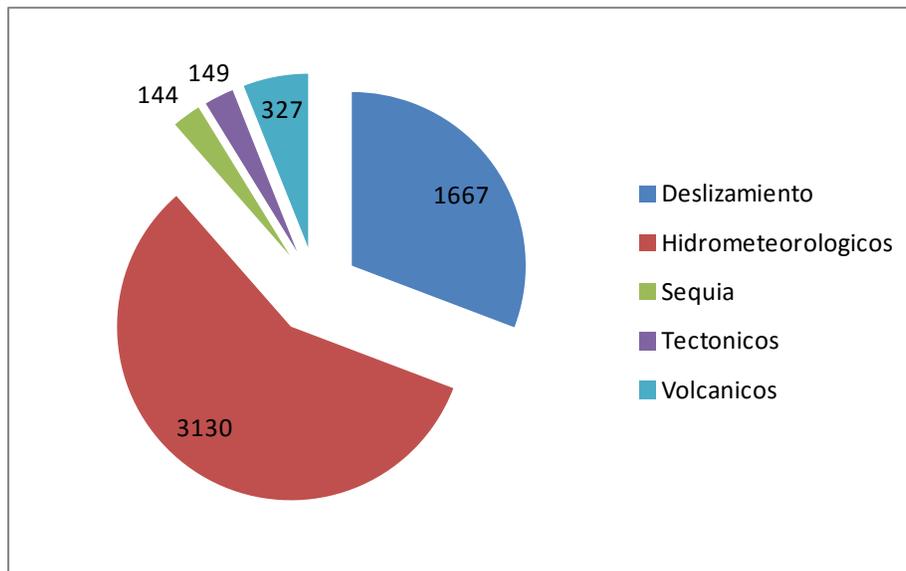


Figura E-2: Distribución de la afectación total por categoría

E.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Ecuador, a nivel de Cantón, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincias, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla E-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla E-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla E-3.

Tabla E-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1018	452	1118	2106	1635
Hidrometeorológicos	1864	526	1155	55233	7265
Sequía	106	0	0	0	0
Tectónicos	136	378	364	2508	1968
Volcánicos	212	6	5	2312	10

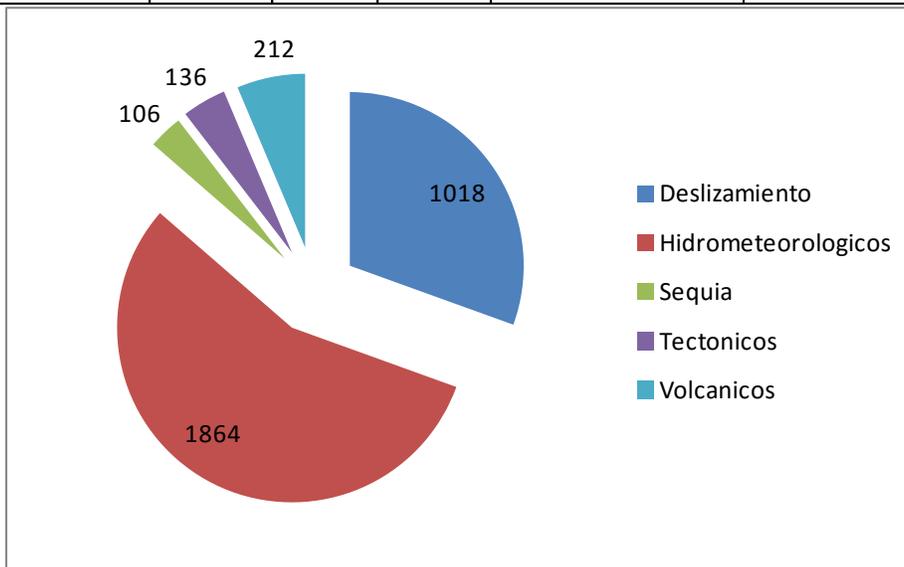


Figura E-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

E.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla E-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	357	357	357	357	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,016	22,488	37,481	23,988	76

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla E-4 y a la afectación presentada en la Tabla E-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla E-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla E-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	1.018	32	125.981.354	3.936.917	123.754
Hidrometeorológicos	1.864	58	712.565.630	22.267.676	382.278
Sequía	106	3	0	0	0
Tectónicos	136	4	54.723.667	1.710.115	402.38
Volcánicos	212	7	9.665.600	302.05	45.592
TOTAL 32 años	3.336	104	902.936.251	28.216.758	270.664

Las Figuras E-4 y E-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

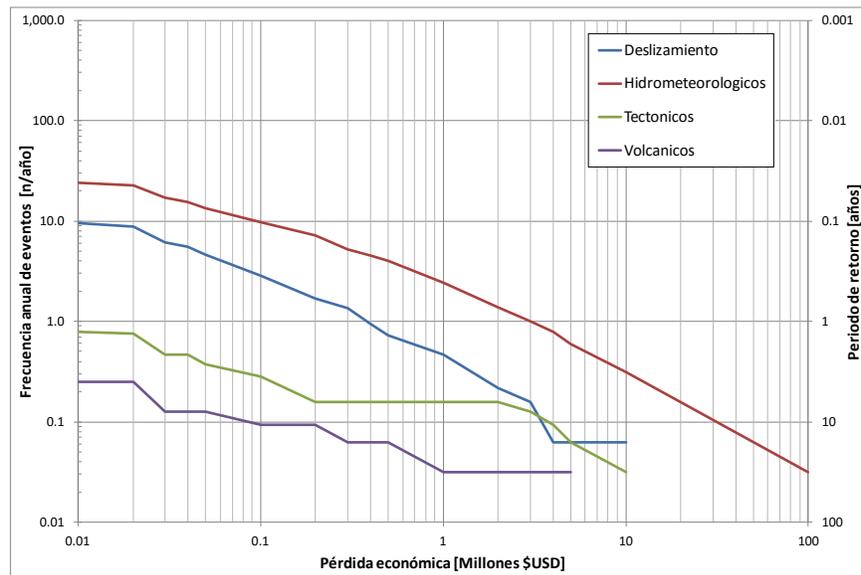


Figura E-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

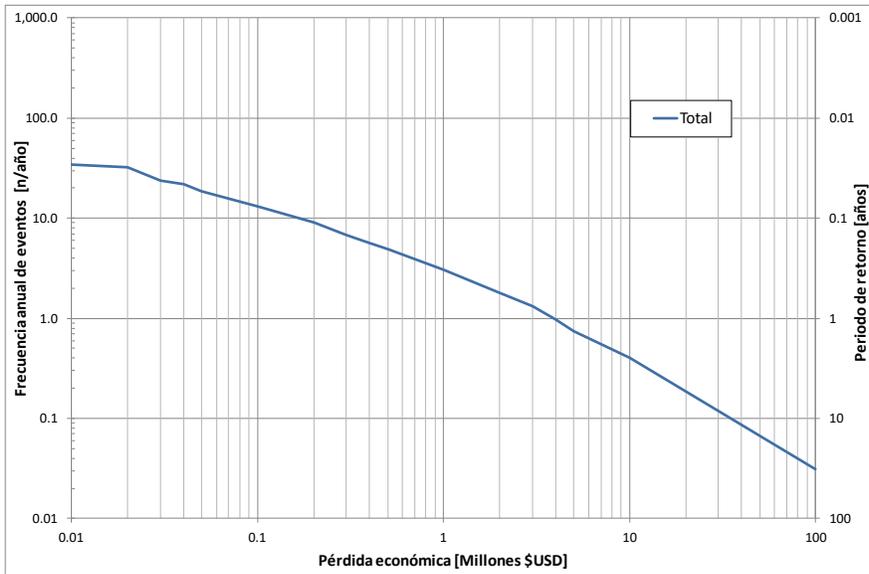


Figura E-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

F El Salvador

F.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de El Salvador contiene registros que datan desde 1900 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1970 - 2011. La Figura F-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

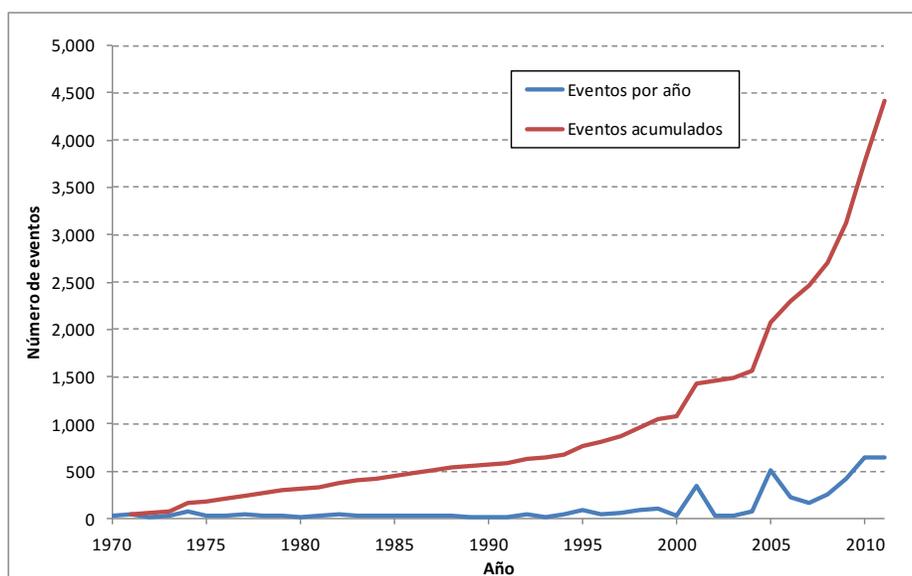


Figura F-1: Número de registros por año

F.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla F-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1043	430	1445	3993	1541
Hidrometeorológicos	2660	533	1126	47611	13967
Huracán	83	6	8	2037	460
Sequía	158	0	0	1200	0
Tectónicos	438	16851	2076	172345	188684
Volcánicos	54	3	2	100	0

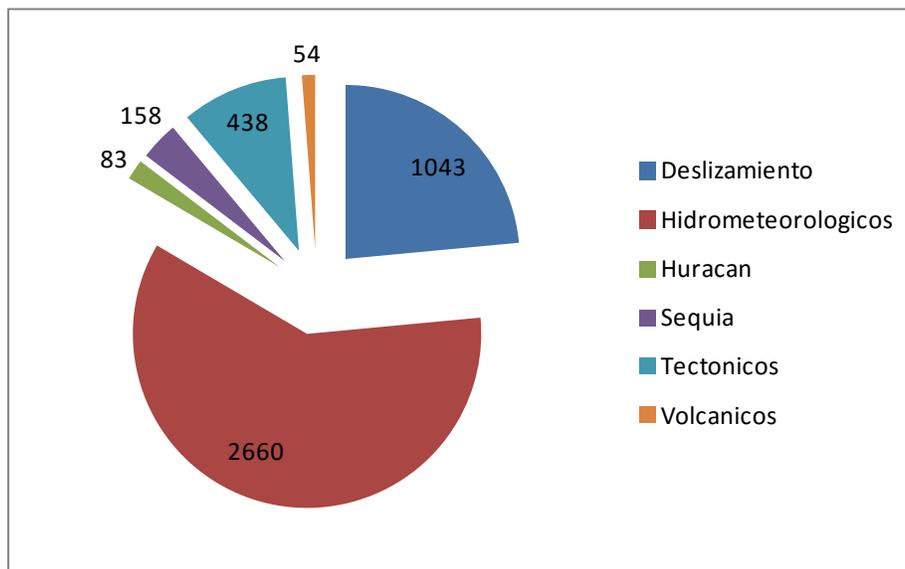


Figura F-2: Distribución de la afectación total por categoría

F.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de El Salvador, a nivel de Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparon a nivel regional (por Departamentos, campo "level0" de la base de datos). Se agruparon los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla F-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla F-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla F-3.

Tabla F-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	392	86	1277	1661	1079
Hidrometeorológicos	1219	572	1293	49908	14426
Huracán	63	6	9	2071	462
Sequía	139	0	0	1200	0
Tectónicos	131	17156	2076	172346	188685
Volcánicos	30	3	2	100	0

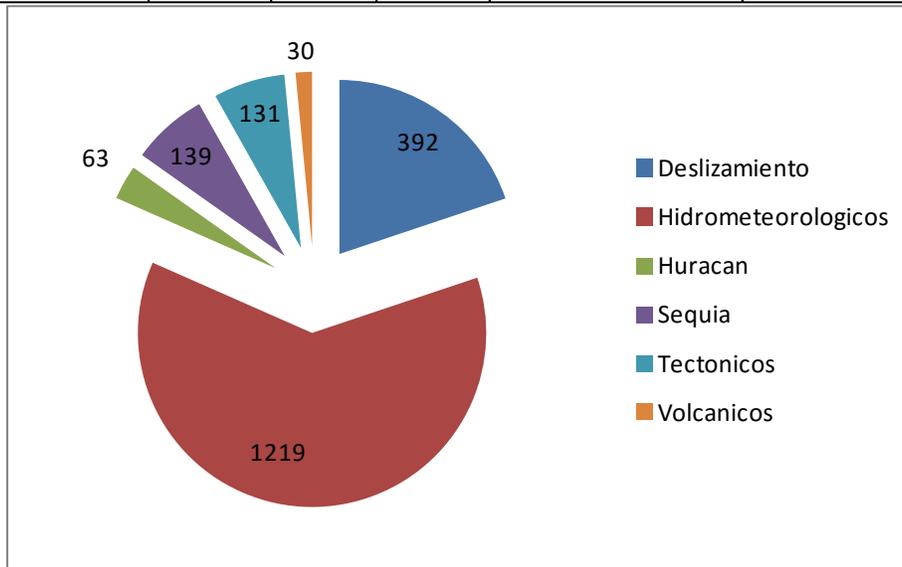


Figura F-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

F.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla F-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	357	357	357	357	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,012	22,470	37,449	23,968	88

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla F-4 y a la afectación presentada en la Tabla F-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla F-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla F-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	392	9	31.152.484	741.726	79.471
Hidrometeorológicos	1.219	29	524.010.401	12.476.438	429.869
Huracán	63	2	18.394.500	437.964	291.976
Sequía	139	3	4.715.370	112.271	33.924
Tectónicos	131	3	4.791.072.550	114.073.156	36.573.073
Volcánicos	30	1	493.361	11.747	16.445
TOTAL 42 años	1.974	47	5.369.838.666	127.853.302	2.720.283

Las Figuras F-4 y F-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

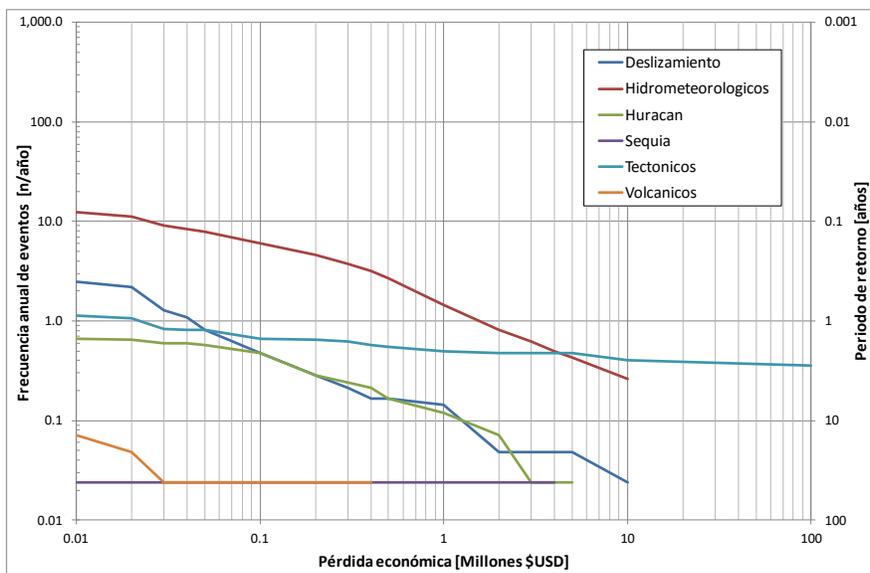


Figura F-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

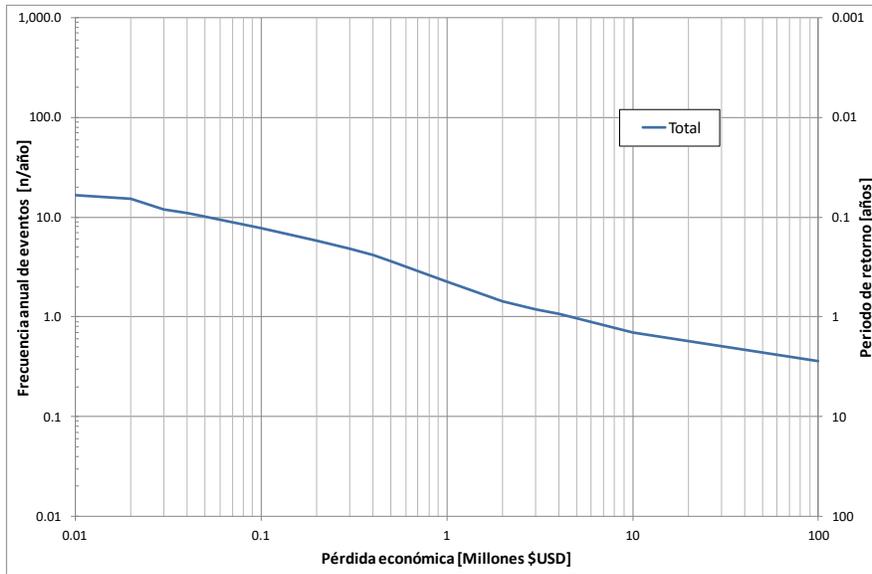


Figura F-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

G Guatemala

G.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Guatemala contiene registros que datan desde 1905 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1988 - 2011. La Figura G-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

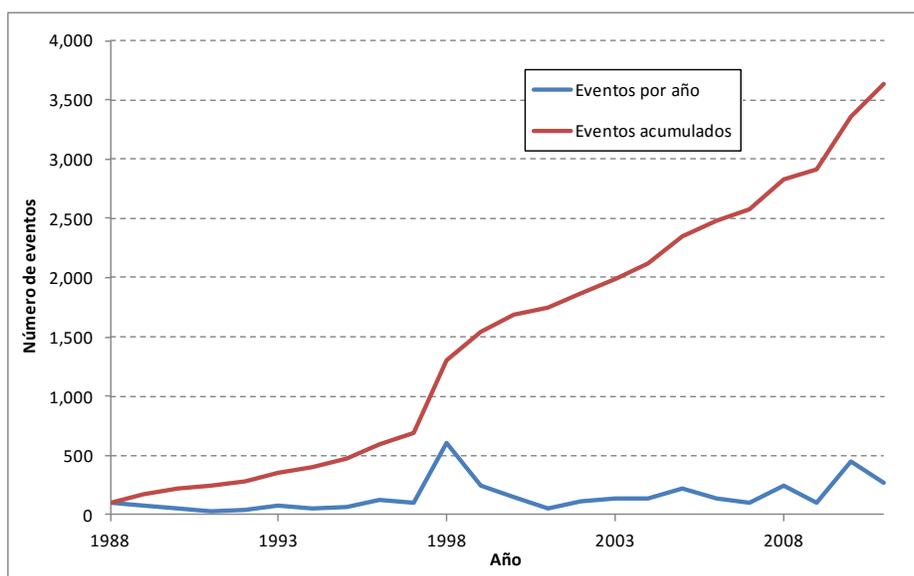


Figura G-1: Número de registros por año

G.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla G-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1104	850	842	3564	1848
Hidrometeorológicos	2391	1301	1127	161491	26692
Huracán	29	12	10	1248	293
Sequía	18	0	0	0	0
Tectónicos	56	259	35	1693	2442
Volcánicos	36	60	8	1040	214

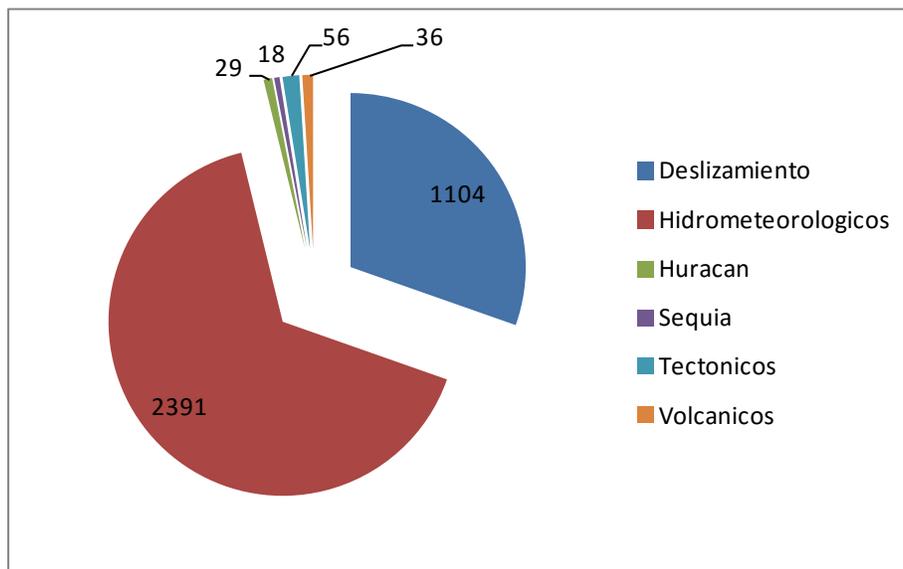


Figura G-2: Distribución de la afectación total por categoría

G.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Guatemala, a nivel de Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparon a nivel regional (por Departamentos, campo “level0” de la base de datos). Se agruparon los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla G-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla G-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla G-3.

Tabla G-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	735	617	692	2789	1176
Hidrometeorológicos	1342	1532	1277	162254	27364
Huracán	23	14	10	1260	293
Sequía	18	0	0	0	0
Tectónicos	48	259	35	1693	2442
Volcánicos	33	60	8	1040	214

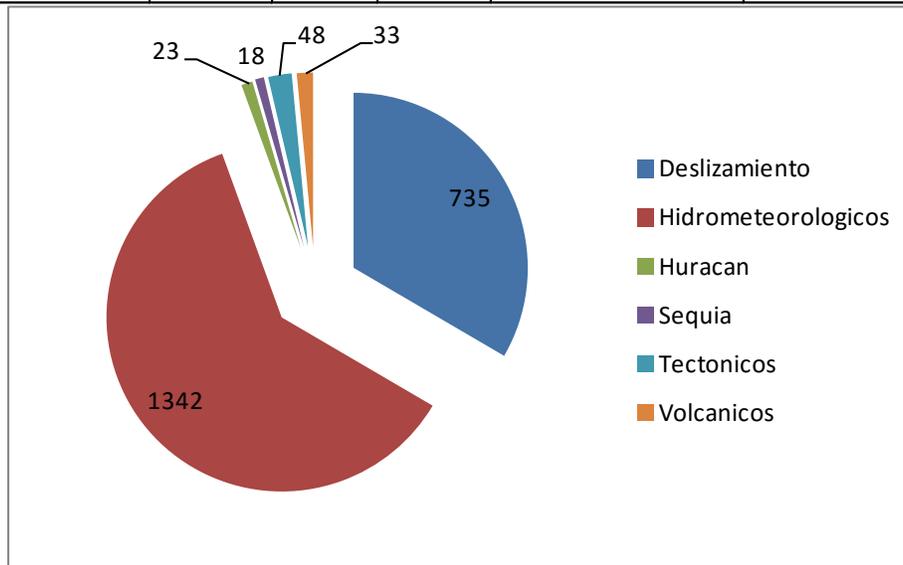


Figura G-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

G.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla G-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	344	344	344	344	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,865	21,641	36,069	23,084	124

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla G-4 y a la afectación presentada en la Tabla G-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla G-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla G-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	735	31	63.664.023	2.652.668	86.618
Hidrometeorológicos	1.342	56	1.372.310.717	57.179.613	1.022.586
Huracán	23	1	11.314.286	471.429	491.925
Sequía	18	1	0	0	0
Tectónicos	48	2	62.264.052	2.594.336	1.297.168
Volcánicos	33	1	9.646.543	401.939	292.319
TOTAL 24 años	2.199	91	1.519.199.621	63.299.984	690.859

Las Figuras G-4 y G-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

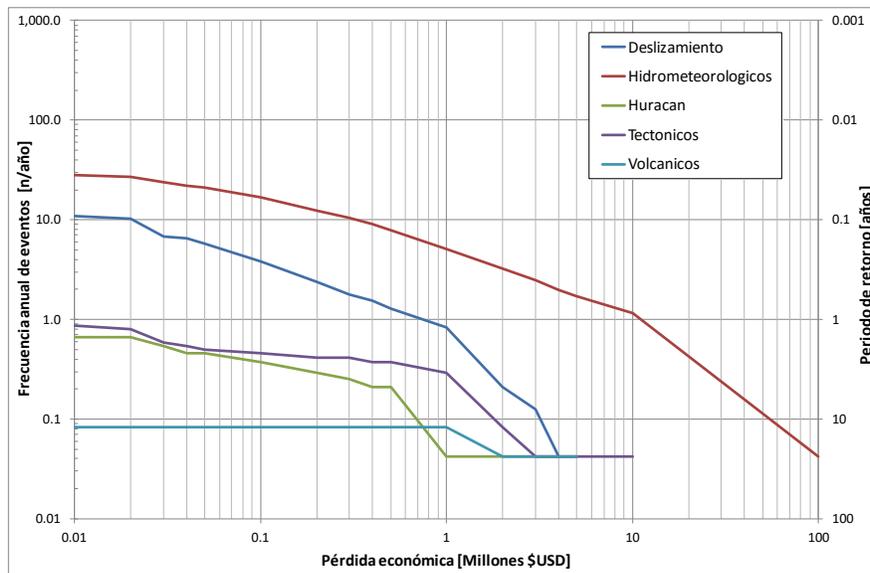


Figura G-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

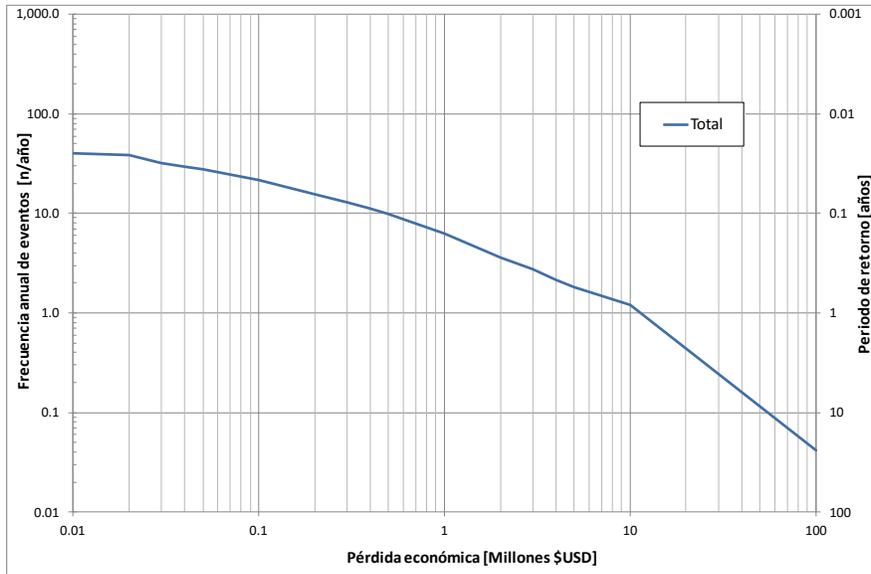


Figura G-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

H Guyana

H.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Guyana contiene registros que datan desde 1972 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1972 - 2011. La Figura H-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

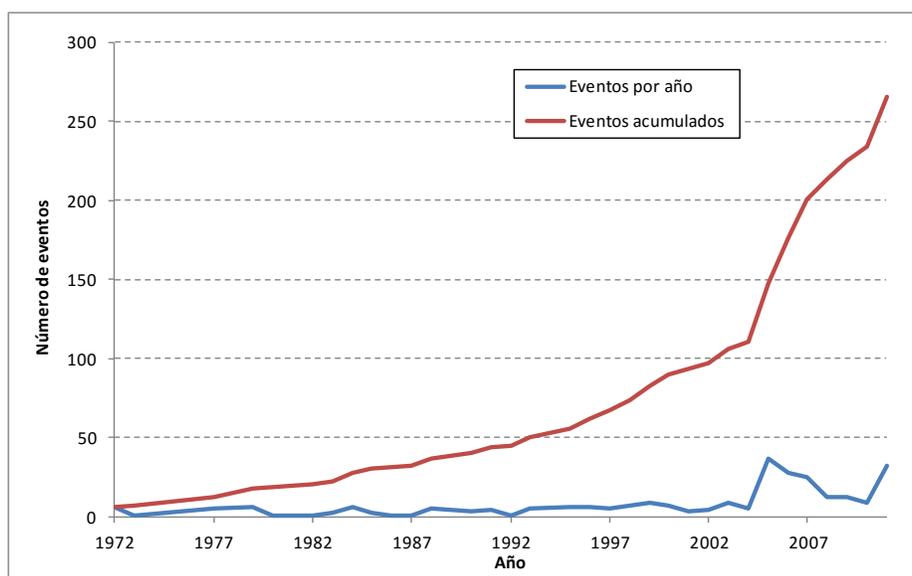


Figura H-1: Número de registros por año

H.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla H-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Hidrometeorológicos	248	1498	15	113059	115
Huracán	3	0	0	0	0
Sequía	12	0	889	0	0
Tectónicos	3	0	0	0	4

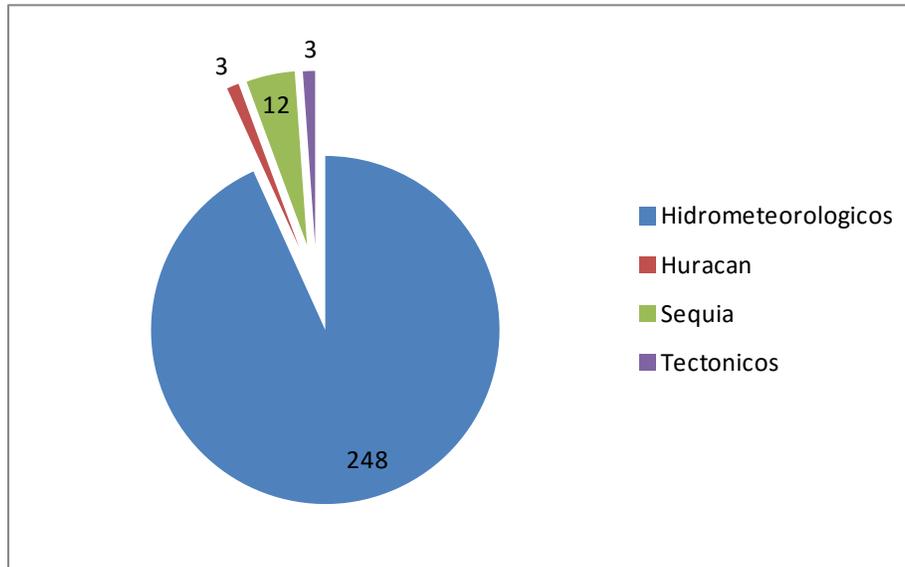


Figura H-2: Distribución de la afectación total por categoría

H.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Guyana, a nivel de Sub-región, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Región, campo "level0" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla H-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla H-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla H-3.

Tabla H-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Hidrometeorológicos	192	1498	15	113059	115
Huracán	3	0	0	0	0
Sequía	12	0	889	0	0
Tectónicos	3	0	0	0	4

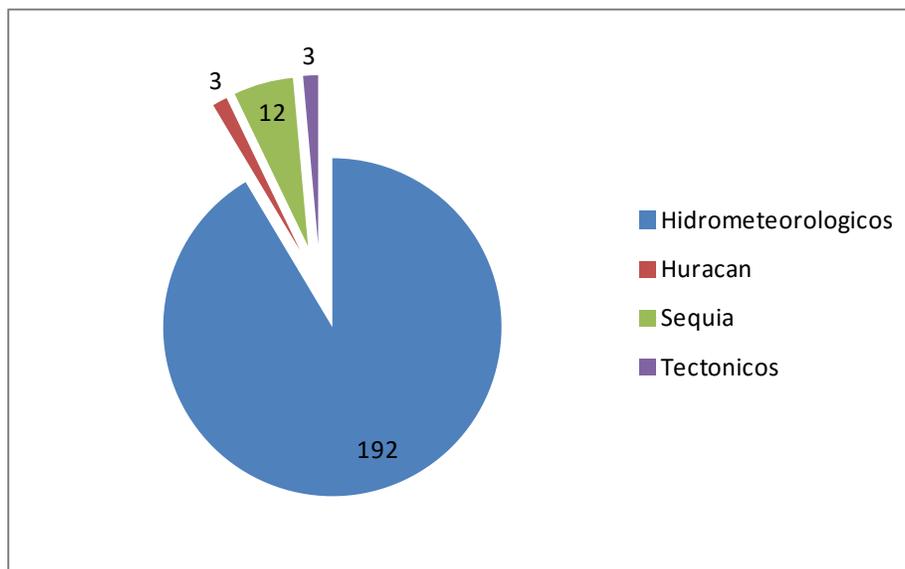


Figura H-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

H.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla H-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	343	343	343	343	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,853	21,578	35,963	23,016	59

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla H-4 y a la afectación presentada en la Tabla H-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla H-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla H-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Hidrometeorológicos	192	6	439.863.271	13.329.190	2.290.955
Huracán	3	0	25.431	771	8.477
Sequía	12	0	25.431	771	2.119
Tectónicos	3	0	129.981	3.939	43.327
TOTAL 33 años	210	6	440.044.114	13.334.670	2.095.448

Las Figuras H-4 y H-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

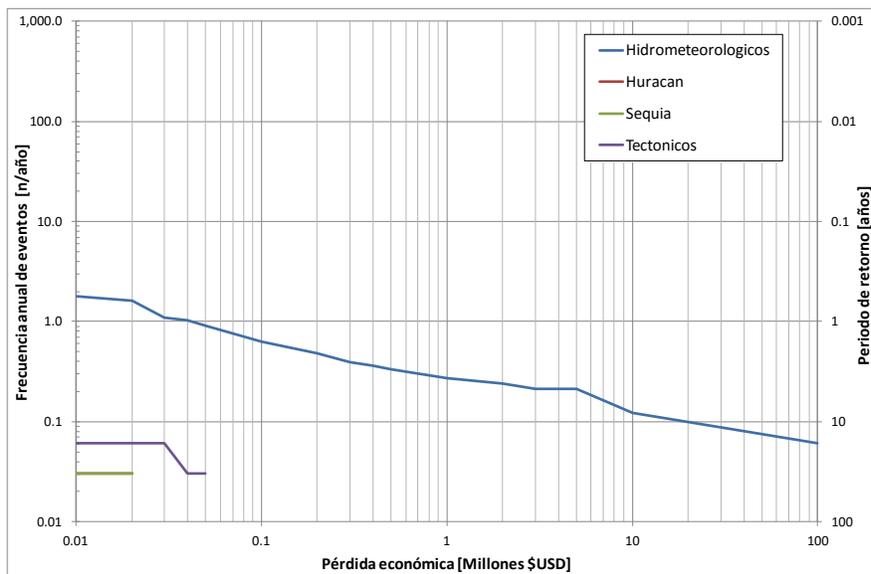


Figura H-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

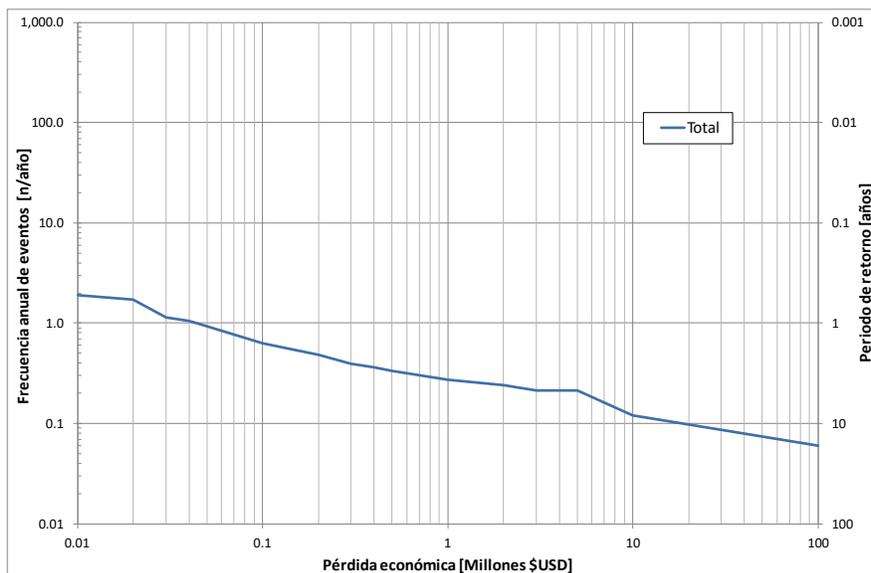


Figura H-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

I Honduras

I.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Honduras contiene registros que datan desde 1915 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1974 - 2011. La Figura I-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

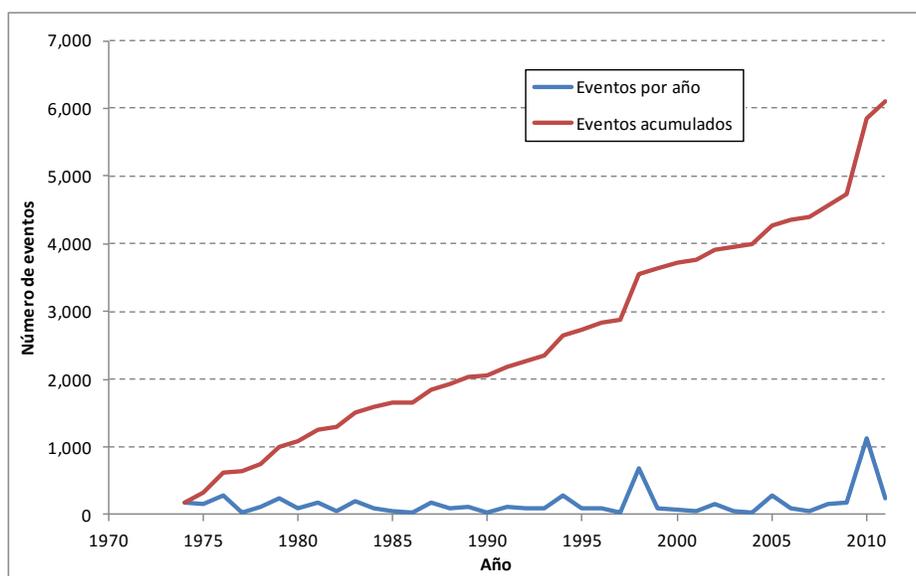


Figura I-1: Número de registros por año

I.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla I-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	581	71	132	5370	1123
Hidrometeorológicos	4393	286519	18279	112474	46801
Huracán	100	0	673	12605	3289
Sequía	762	9	4	0	0
Tectónicos	262	132	25	7331	1385
Volcánicos	1	0	0	0	0

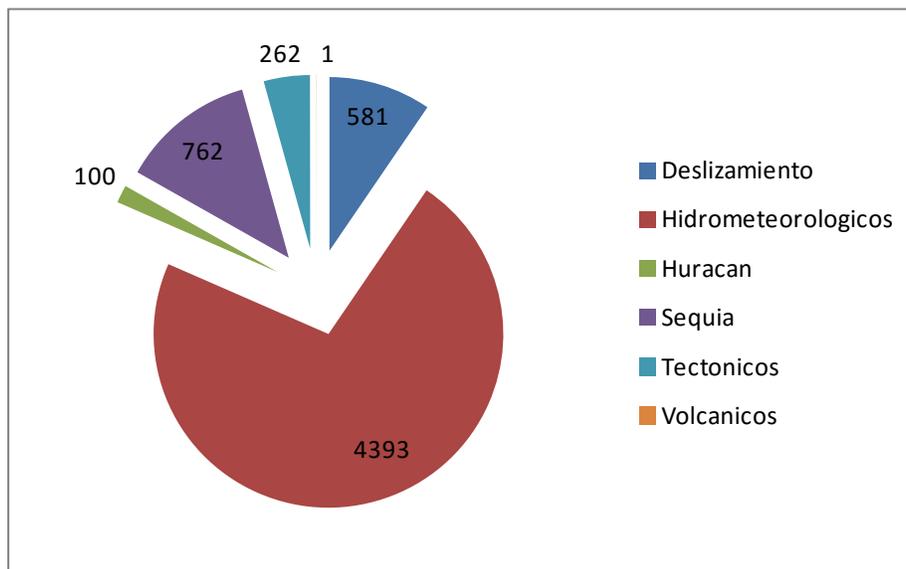


Figura I-2: Distribución de la afectación total por categoría

I.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Honduras, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla I-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla I-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla I-3.

Tabla I-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	254	27	96	501	504
Hidrometeorológicos	1202	275931	16763	116843	47269
Huracán	71	10632	2225	13105	3440
Sequía	368	9	4	0	0
Tectónicos	99	132	25	7331	1385
Volcánicos	1	0	0	0	0

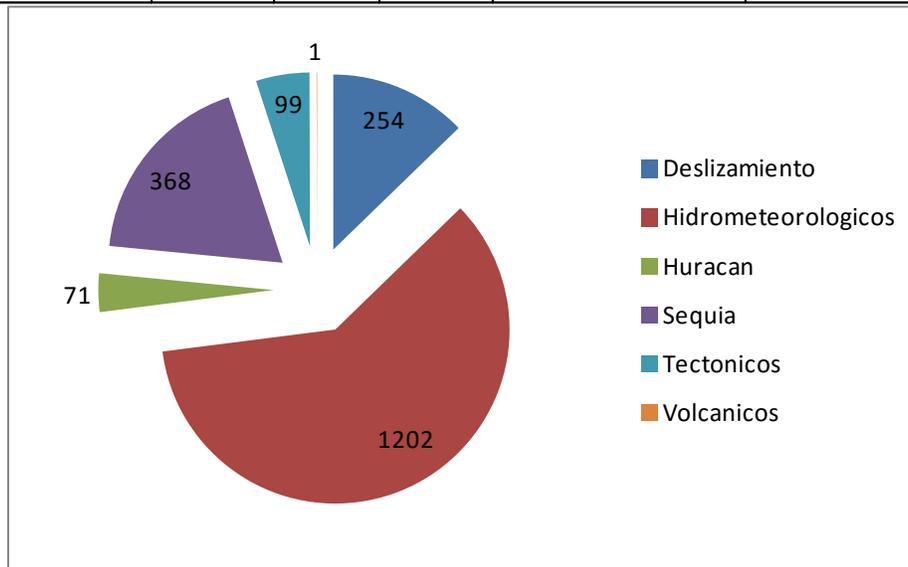


Figura I-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

I.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla I-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	330	330	330	330	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,717	20,814	34,690	22,201	90

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla I-4 y a la afectación presentada en la Tabla I-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla I-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla I-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	254	7	22.053.888	580.365	86.826
Hidrometeorológicos	1.202	32	1.413.761.208	37.204.242	1.176.174
Huracán	71	2	123.722.557	3.255.857	1.742.571
Sequía	368	10	86.472	2.276	235
Tectónicos	99	3	60.251.594	1.585.568	608.602
Volcánicos	1	0	0	0	0
TOTAL 38 años	1.995	52	1.619.875.719	42.628.308	811.968

Las Figuras I-4 y I-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

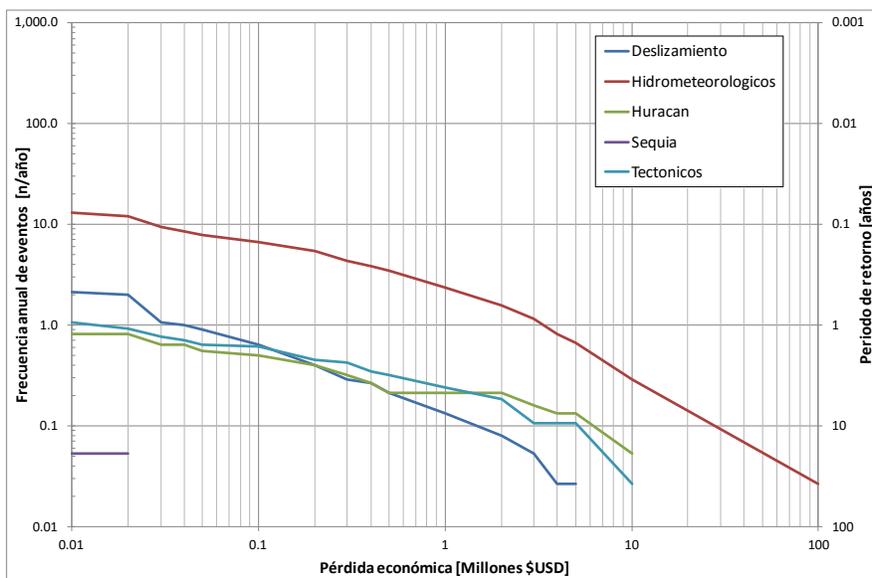


Figura I-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

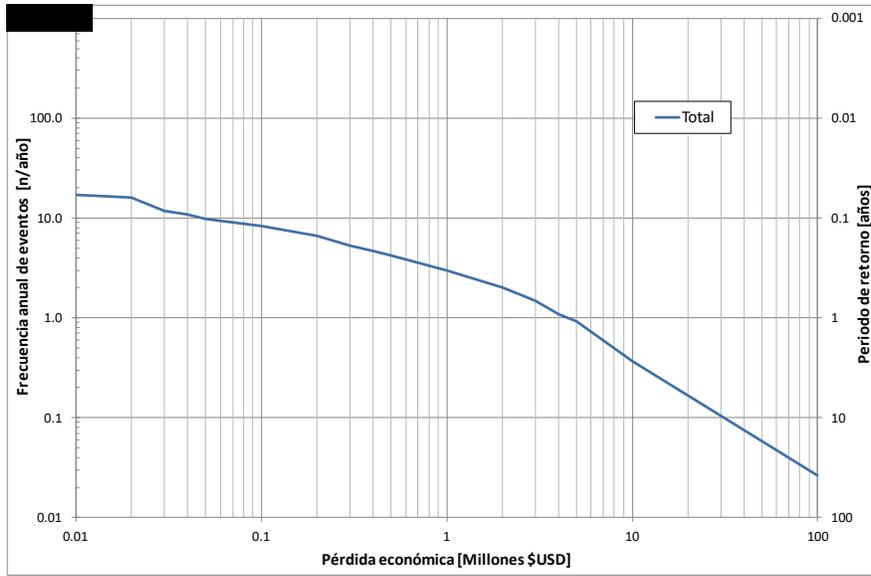


Figura I-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

J India - Orissa

J.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres para el estado de Orissa en la India contiene registros que datan desde 1970 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1970 - 2010. La Figura J-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

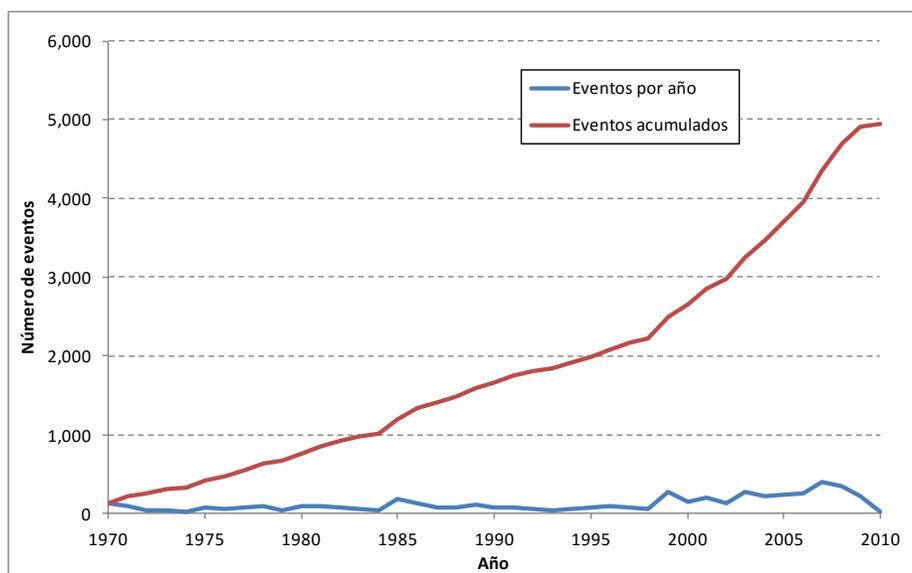


Figura J-1: Número de registros por año

J.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.

- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla J-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	42	145	140	43	0
Hidrometeorológicos	3768	4872	8167	1456966	471222
Huracán	685	4133	21863	1740827	765175
Sequía	438	508	3068	0	0
Tectónicos	6	0	0	11	3

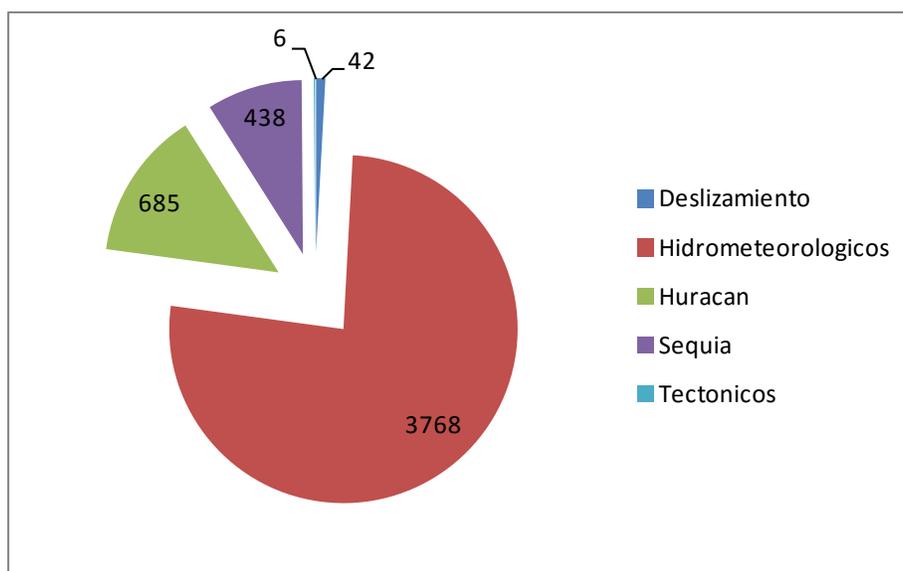


Figura J-2: Distribución de la afectación total por categoría

J.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso del estado de Orissa en la India, a nivel de Tehsil o Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel estatal es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Distrito, campo "level1" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla J-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla J-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla J-3.

Tabla J-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	40	141	136	43	0
Hidrometeorológicos	2726	4755	7922	1446541	428998
Huracán	510	4254	22112	1751252	807399
Sequía	348	508	3068	0	0
Tectónicos	5	0	0	11	3

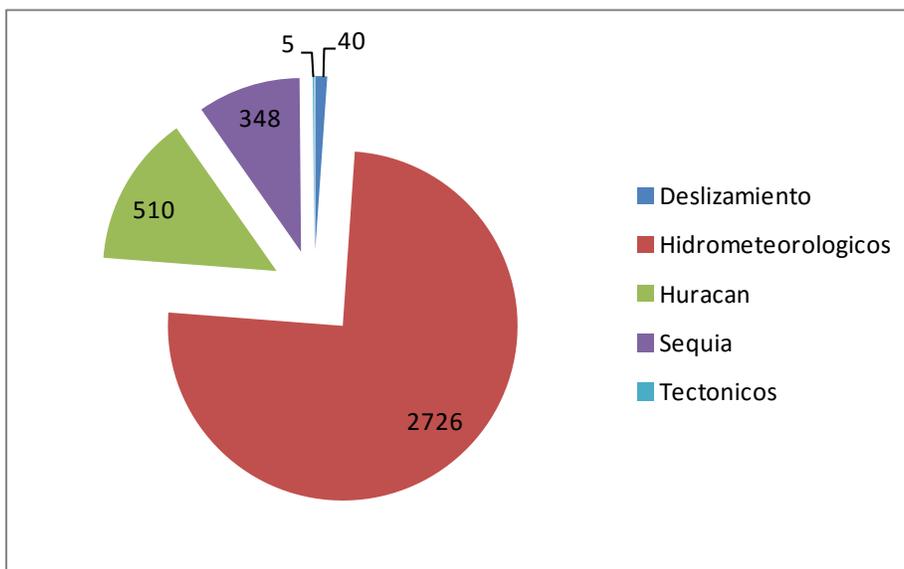


Figura J-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

J.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla J-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	321	321	321	321	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,613	20,232	33,720	21,581	160

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla J-4 y a la afectación presentada en la Tabla J-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla J-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla J-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	40	1	155.359	3.789	3.884
Hidrometeorológicos	2.726	66	13.966.333.270	340.642.275	5.123.380
Huracán	510	12	22.859.153.029	557.540.318	44.821.869
Sequía	348	8	20.232	493	58
Tectónicos	5	0	104.052	2.538	20.810
TOTAL 41 años	3.629	88	36.825.765.942	898.189.413	10.147.635

Las Figuras J-4 y J-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

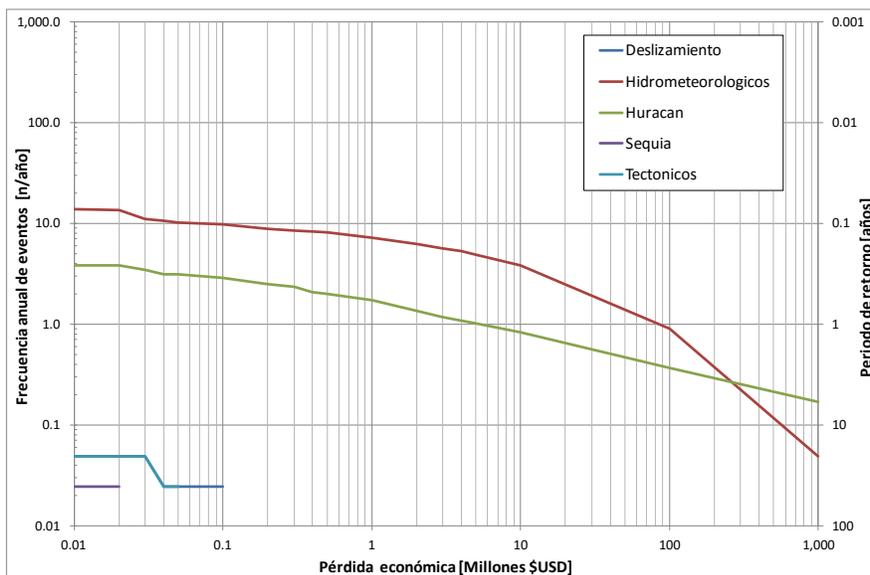


Figura J-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

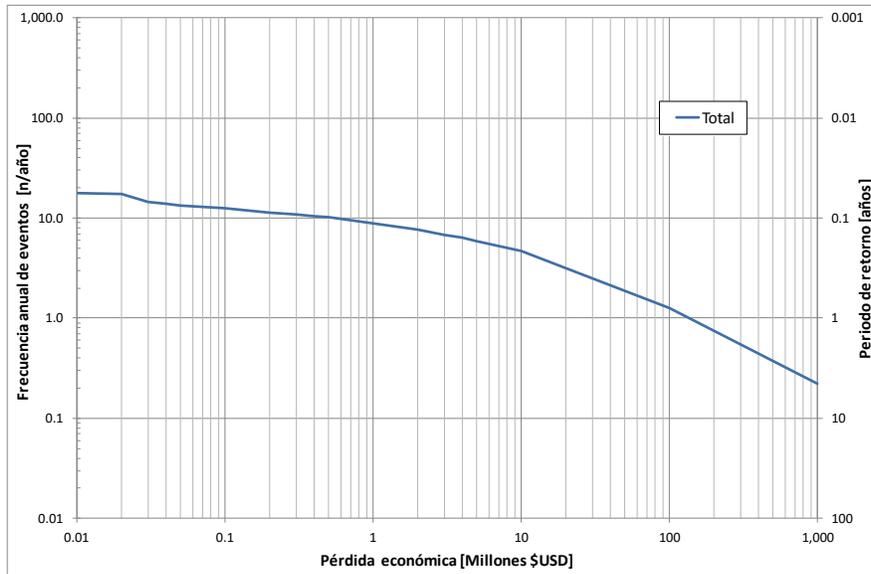


Figura J-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

K India – Tamil Nadu

K.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres para el estado de Tamil Nadu en la India contiene registros que datan desde 1968 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1977 - 2010. La Figura K-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

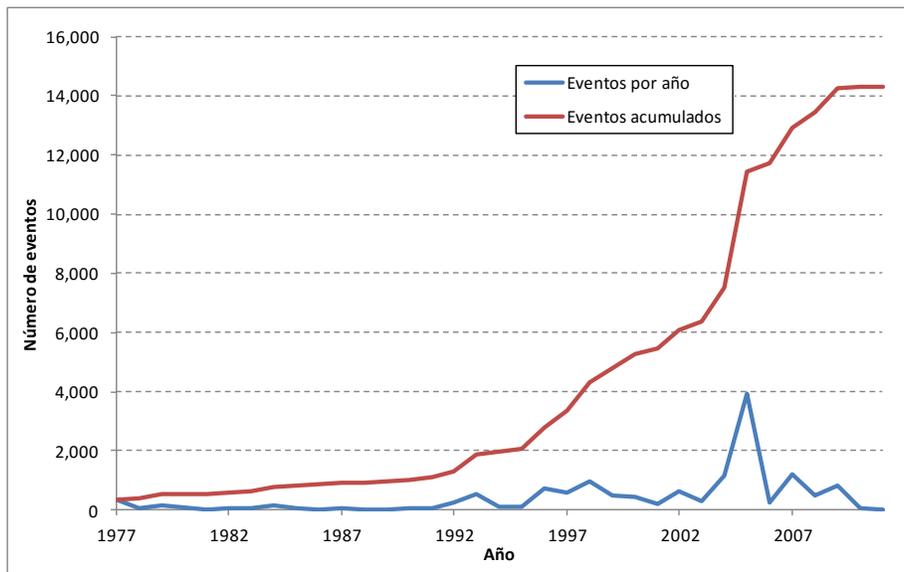


Figura K-1: Número de registros por año

K.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.

- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla K-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	86	56	186	9	66
Hidrometeorológicos	13431	3803	4808	1662341	411424
Huracán	139	40	120	254352	8290
Sequía	470	0	12	0	0
Tectónicos	184	4328	5086	52029	53460
Volcánicos	2	0	0	0	0

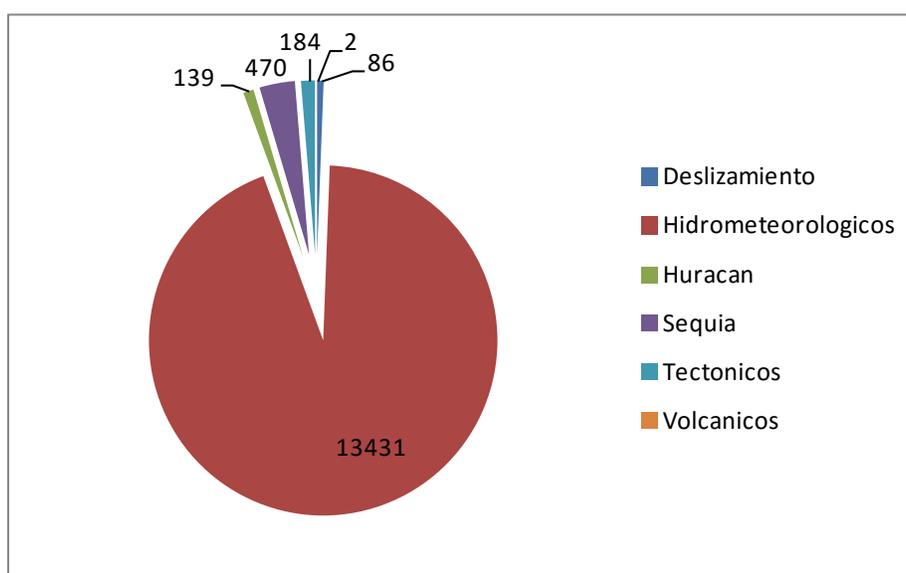


Figura K-2: Distribución de la afectación total por categoría

K.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso del estado de Tamil Nadu en la India, a nivel de Tehsil o Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel estatal es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Distrito, campo "level1" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla K-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla K-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla K-3.

Tabla K-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	19	56	168	9	6
Hidrometeorológicos	2290	3803	4766	1623977	411434
Huracán	36	40	180	292716	8340
Sequía	62	0	12	0	0
Tectónicos	17	4328	5086	52029	53460
Volcánicos	1	0	0	0	0

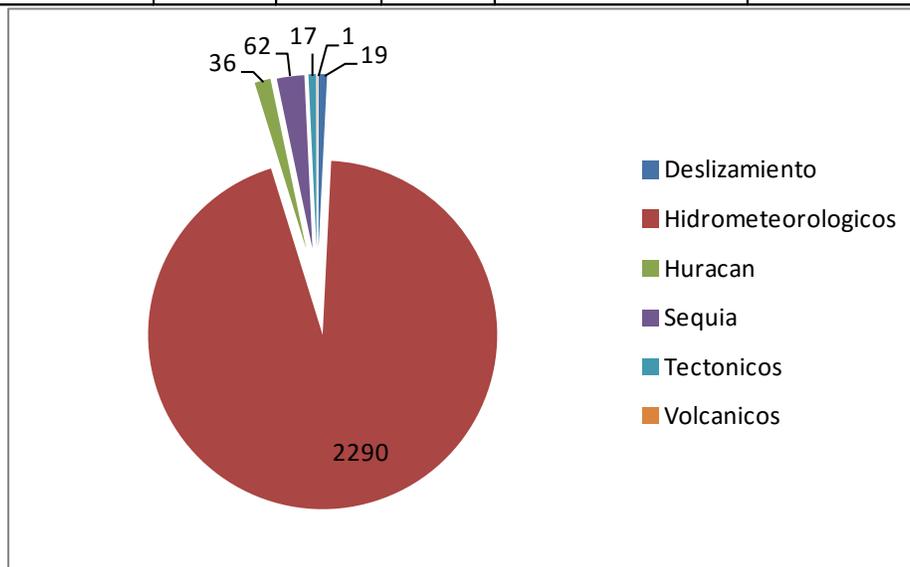


Figura K-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

K.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla K-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	321	321	321	321	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,613	20,232	33,720	21,581	160

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla K-4 y a la afectación presentada en la Tabla K-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla K-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla K-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	19	1	367.187	10.8	19.326
Hidrometeorológicos	2.290	67	30.179.070.218	887.619.712	13.178.633
Huracán	36	1	1.666.943.130	49.027.739	46.303.976
Sequía	62	2	0	0	0
Tectónicos	17	0	1.283.241.786	37.742.405	75.484.811
Volcánicos	1	0	0	0	0
TOTAL 34 años	2.425	71	33.129.622.321	974.400.656	13.661.700

Las Figuras K-4 y K-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

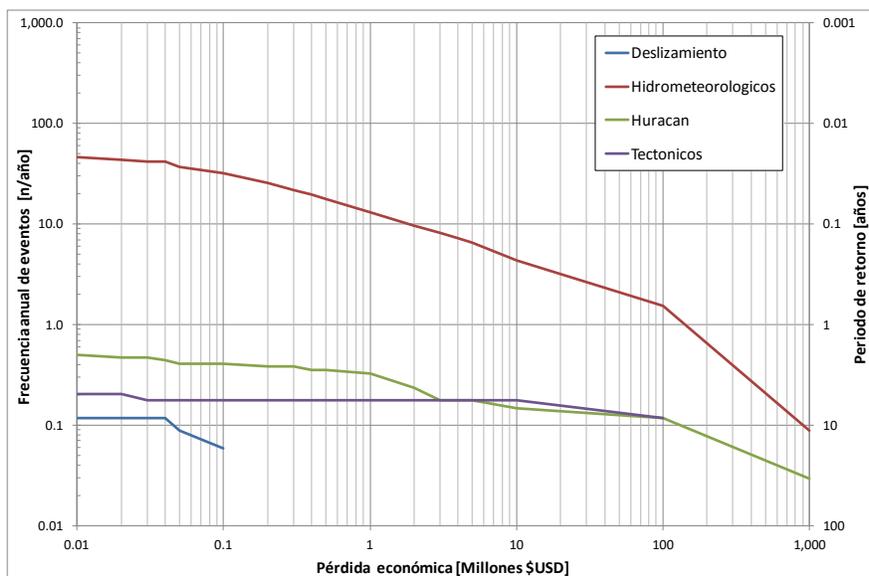


Figura K-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

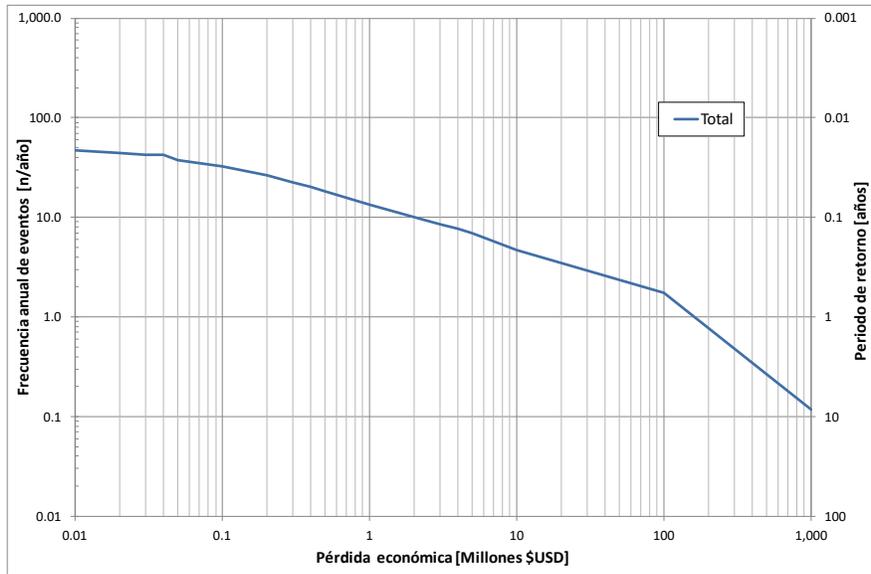


Figura K-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

L Indonesia

L.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Indonesia contiene registros que datan desde 1815 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1972 - 2011. La Figura L-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

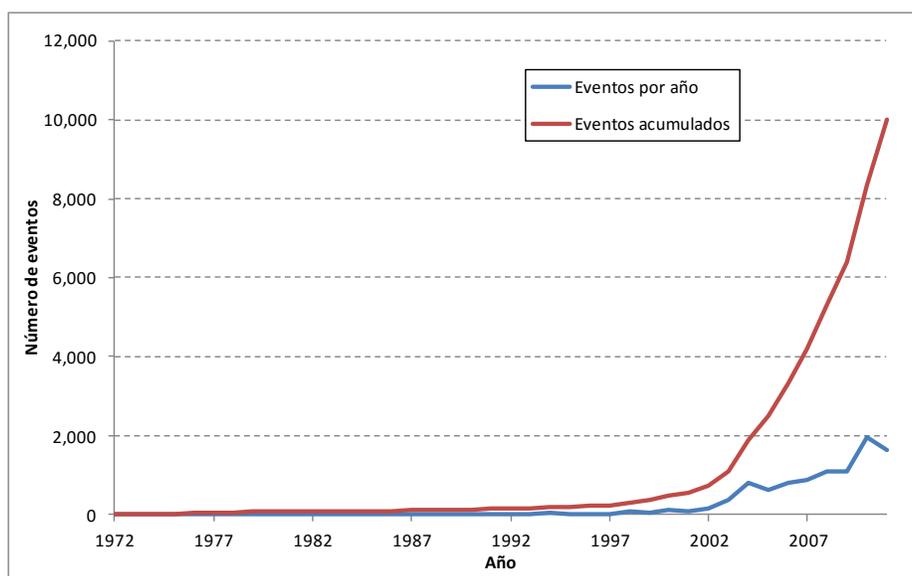


Figura L-1: Número de registros por año

L.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla L-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1971	42277	3869	70138	52420
Hidrometeorológicos	5918	196605	3559	237613	153943
Huracán	190	206	19	3781	3645
Sequía	1412	0	2	0	0
Tectónicos	399	71531	184233	794821	839636
Volcánicos	95	2171	882	3877	402

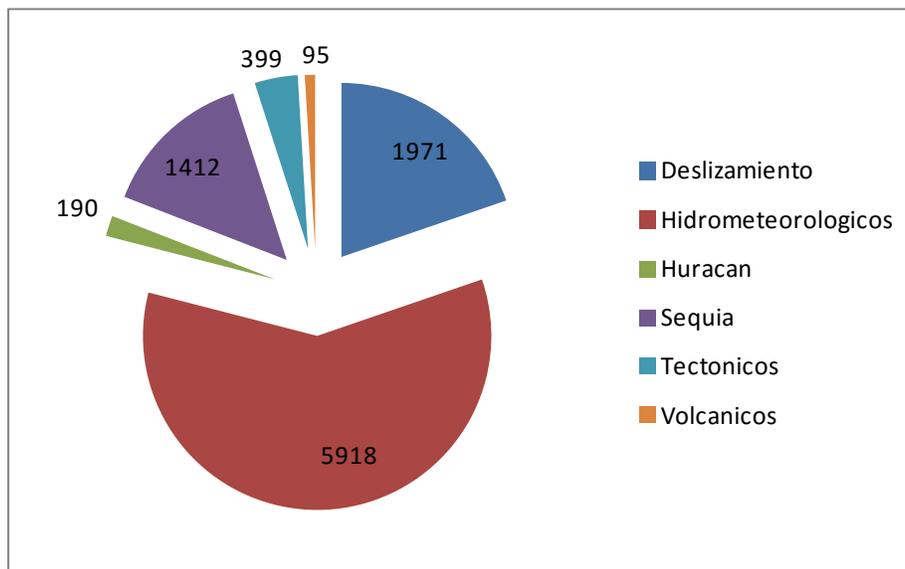


Figura L-2: Distribución de la afectación total por categoría

L.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Indonesia, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparon a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparon los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla L-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla L-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla L-3.

Tabla L-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	748	34757	2722	55950	32801
Hidrometeorológicos	2994	202647	4674	247245	172351
Huracán	135	1684	39	8335	4825
Sequía	442	0	2	0	0
Tectónicos	231	71531	184245	794823	839667
Volcánicos	82	2171	882	3877	402

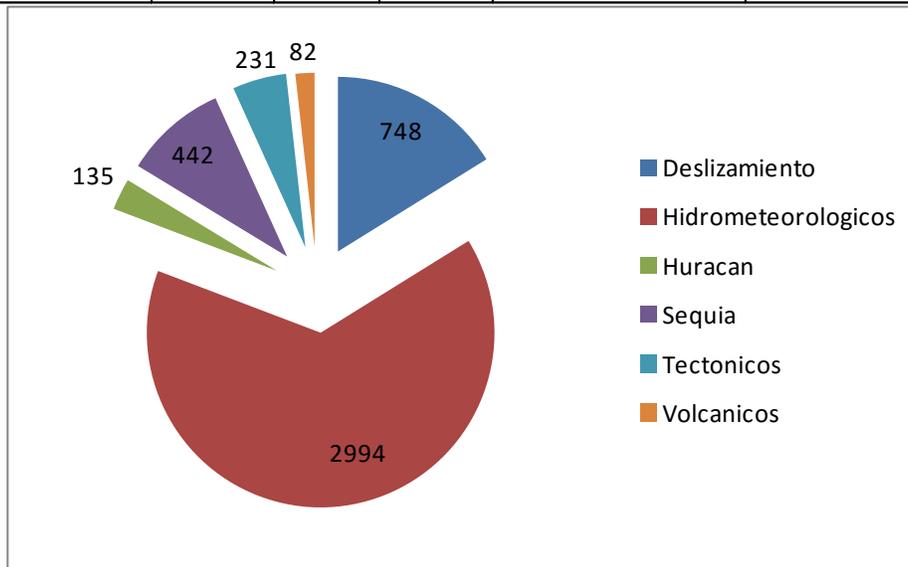


Figura L-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

L.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla L-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	346	346	346	346	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,894	21,807	36,345	23,261	178

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla L-4 y a la afectación presentada en la Tabla L-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla L-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla L-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	748	19	969.704.880	24.242.622	1.296.397
Hidrometeorológicos	2.994	75	5.009.282.552	125.232.064	1.673.107
Huracán	135	3	145.935.216	3.648.380	1.081.002
Sequía	442	11	0	0	0
Tectónicos	231	6	22.262.586.709	556.564.668	96.374.834
Volcánicos	82	2	37.848.866	946.222	461.572
TOTAL 40 años	4.632	115	28.425.358.223	710.633.956	6.136.735

Las Figuras L-4 y L-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

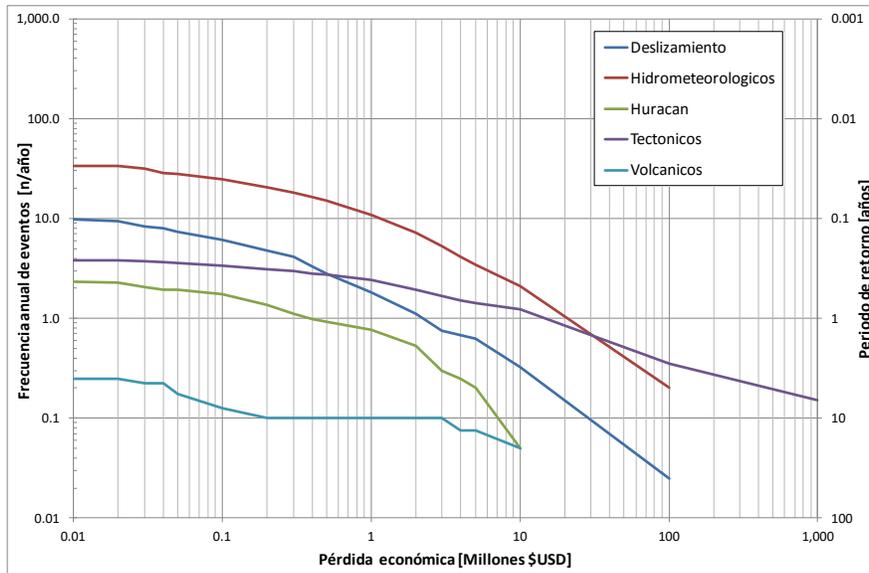


Figura L-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

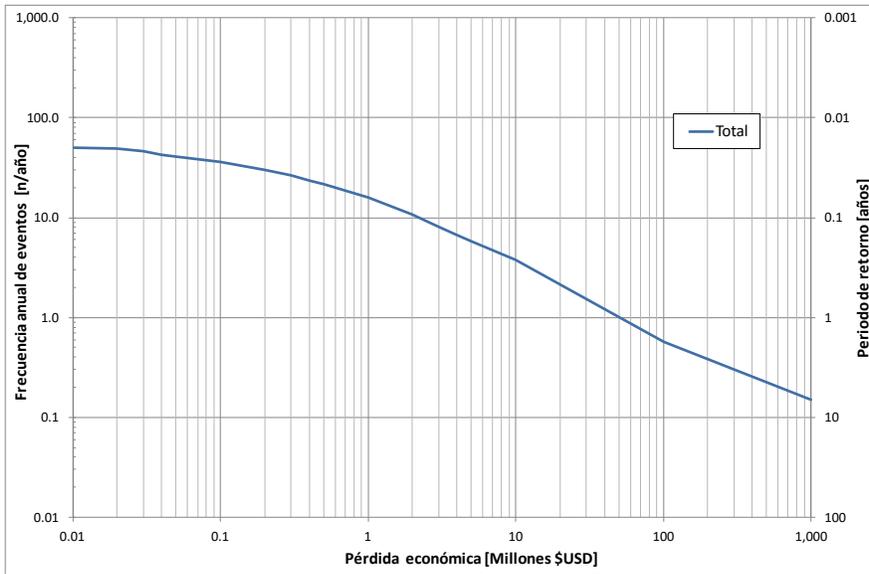


Figura L-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

M Irán

M.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Irán contiene registros que datan desde 1895 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1971 - 2011. La Figura M-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

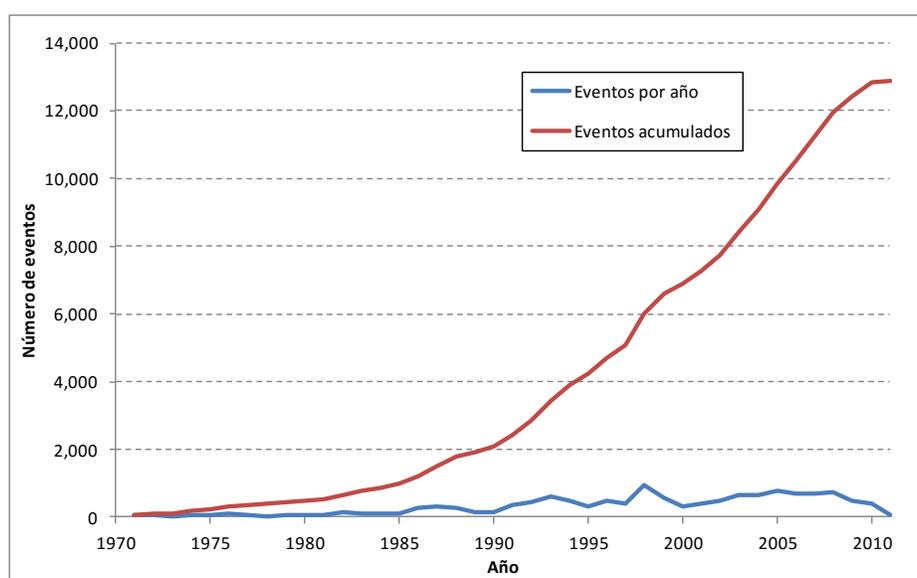


Figura M-1: Número de registros por año

M.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.

- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla M-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	192	104	219	33	455
Hidrometeorológicos	6920	17034	9489	298137	33874
Huracán	3	0	0	0	0
Sequía	61	0	0	0	0
Tectónicos	5693	53666	116332	219028	105215

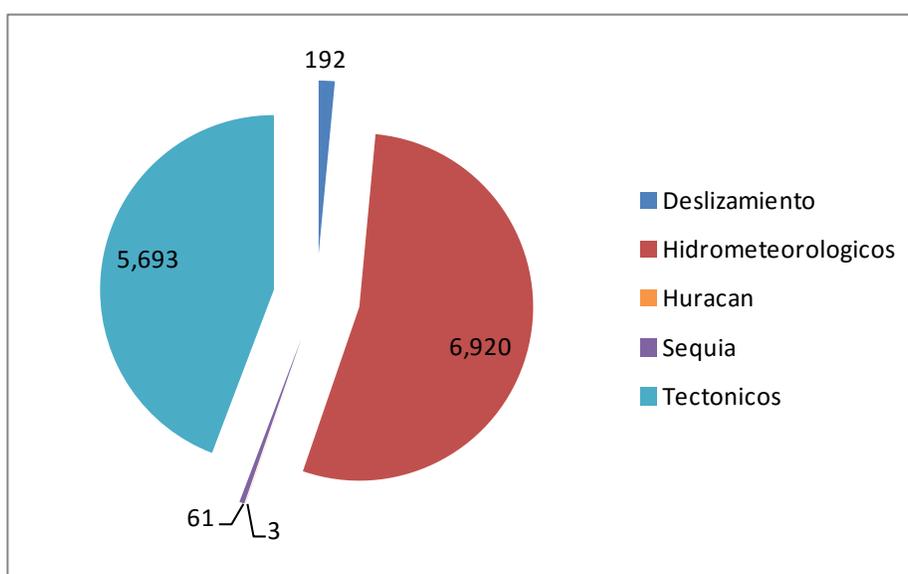


Figura M-2: Distribución de la afectación total por categoría

M.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Irán, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo "level0" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla M-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla M-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla M-3.

Tabla M-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	139	78	127	17	455
Hidrometeorológicos	4045	17034	9568	298153	33874
Huracán	3	0	0	0	0
Sequía	59	0	0	0	0
Tectónicos	4429	53692	116345	219028	105215

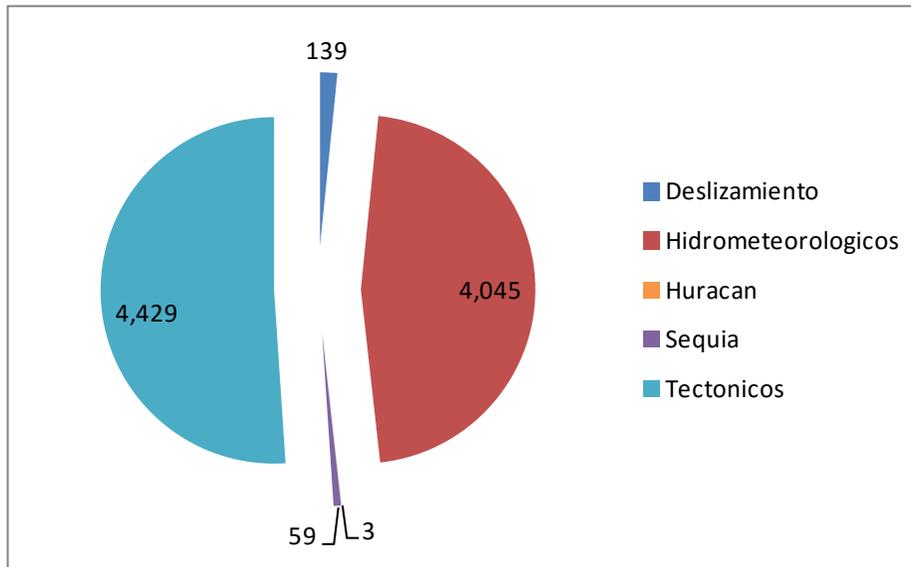


Figura M-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

M.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla M-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	381	381	381	381	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,281	23,976	39,960	25,575	217

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla M-4 y a la afectación presentada en la Tabla M-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla M-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla M-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	139	3	19.652.491	479.329	141.385
Hidrometeorológicos	4.045	99	4.411.156.611	107.589.186	1.090.521
Huracán	3	0	0	0	0
Sequía	59	1	0	0	0
Tectónicos	4.429	108	3.465.255.362	84.518.423	782.401
TOTAL 41 años	8.675	211	7.896.064.464	192.586.938	910.209

Las Figuras M-4 y M-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

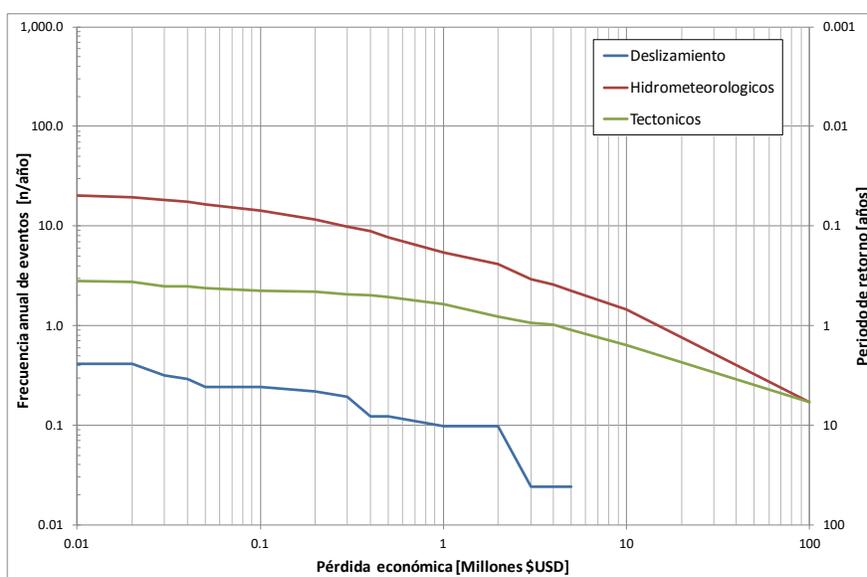


Figura M-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

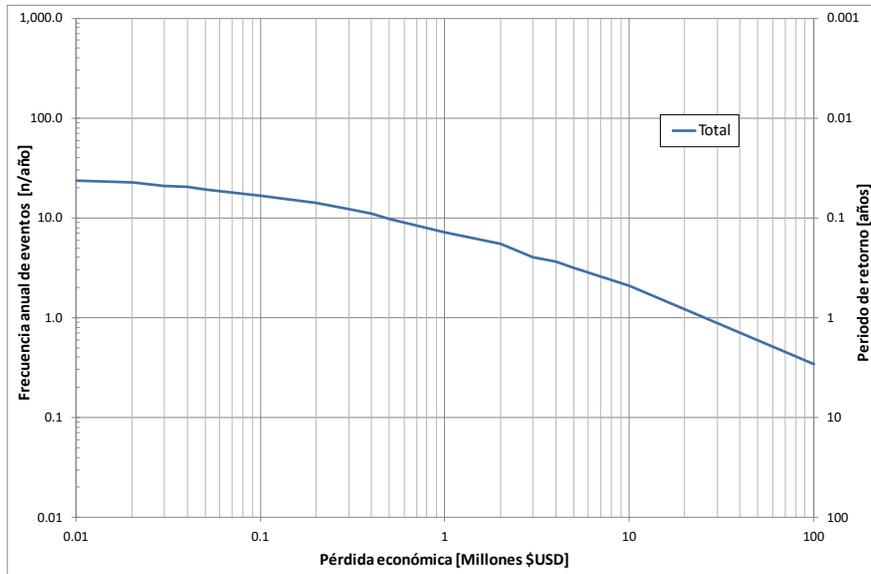


Figura M-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

N Jamaica

N.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Jamaica contiene registros que datan desde 1973 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó la totalidad del periodo para ejecutar el análisis. La Figura N-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

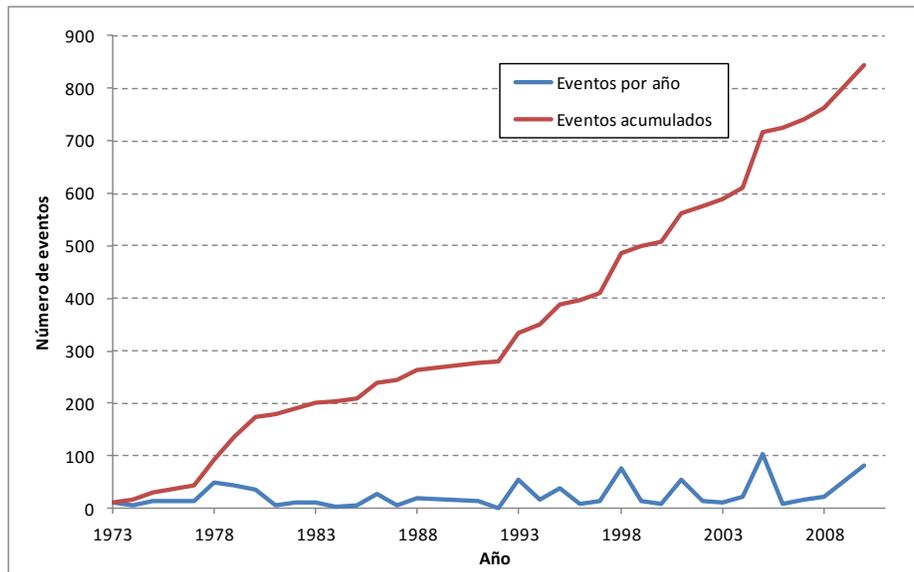


Figura N-1: Número de registros por año

N.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla N-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	99	16	14	388	44
Hidrometeorológicos	547	14	165	19301	1161
Huracán	142	14	113	200394	12906
Sequía	22	12	46	0	0
Tectónicos	35	0	0	0	0

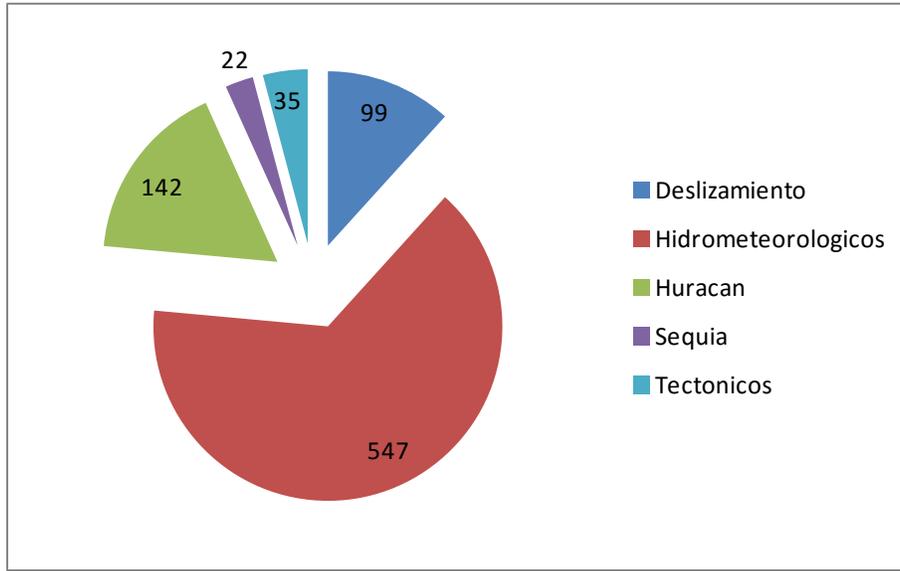


Figura N-2: Distribución de la afectación total por categoría

N.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Jamaica, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla N-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla N-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla N-3.

Tabla N-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	48	10	8	345	11
Hidrometeorológicos	380	19	169	17993	1101
Huracán	103	15	115	201745	12999
Sequía	21	12	46	0	0
Tectónicos	34	0	0	0	0

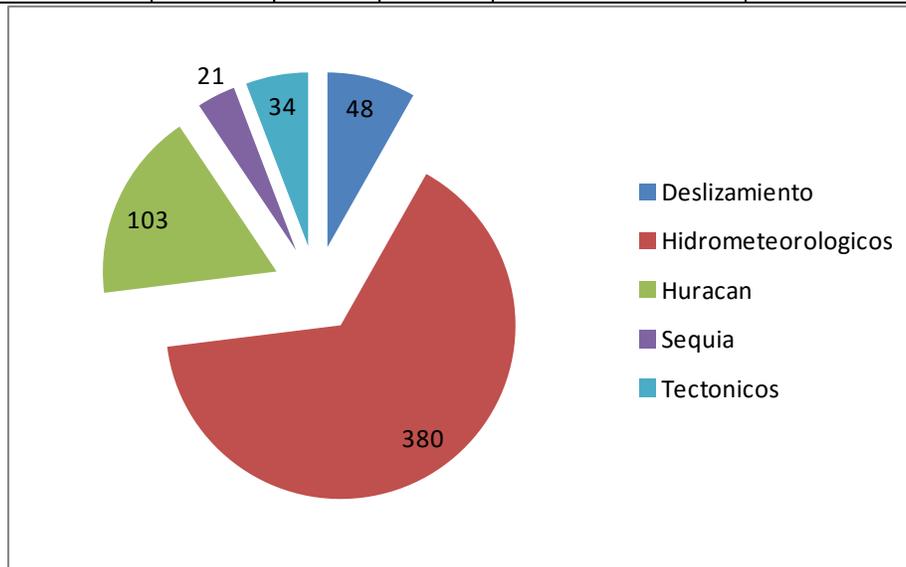


Figura N-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

N.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla N-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	370	370	370	370	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,167	23,333	38,889	24,889	217

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla N-4 y a la afectación presentada en la Tabla N-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla N-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla N-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	48	1	251.667	7.402	5.243
Hidrometeorológicos	380	11	76.353.173	2.245.682	200.929
Huracán	103	3	867.324.121	25.509.533	8.420.623
Sequía	21	1	907.947	26.704	43.236
Tectónicos	34	1	177.003	5.206	5.206
TOTAL 34 años	586	17	945.013.911	27.794.527	1.612.652

Las Figuras N-4 y N-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

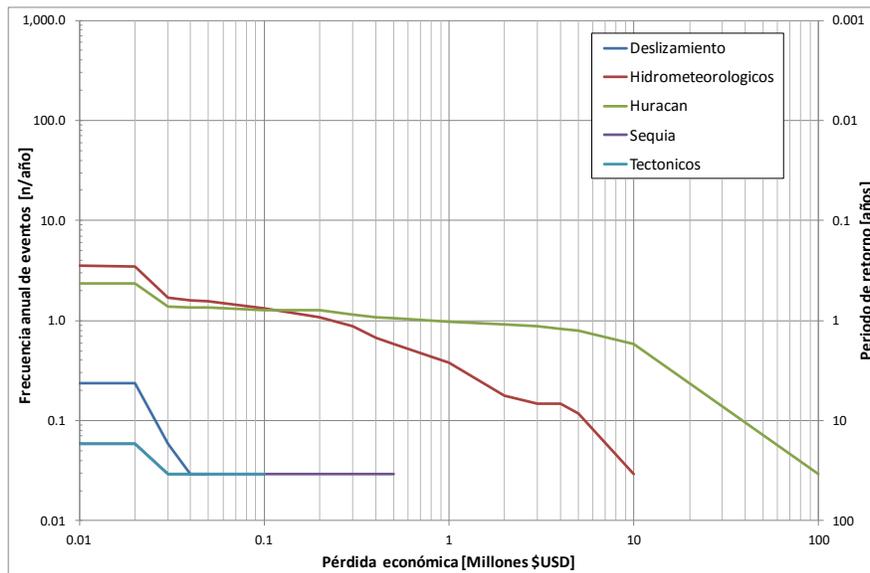


Figura N-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

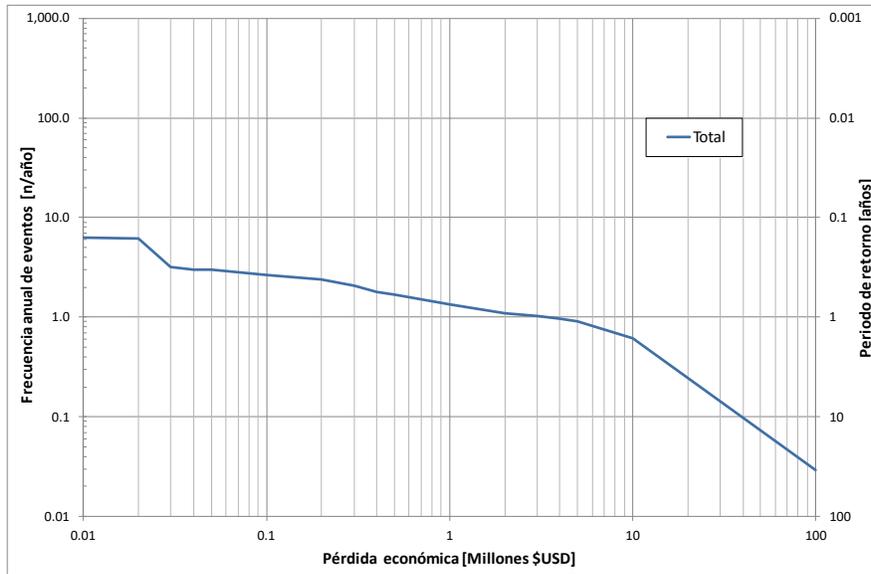


Figura N-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

O Jordania

0.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Jordania contiene registros que datan desde 1981 hasta 2009. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1982 - 2009. La Figura O-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

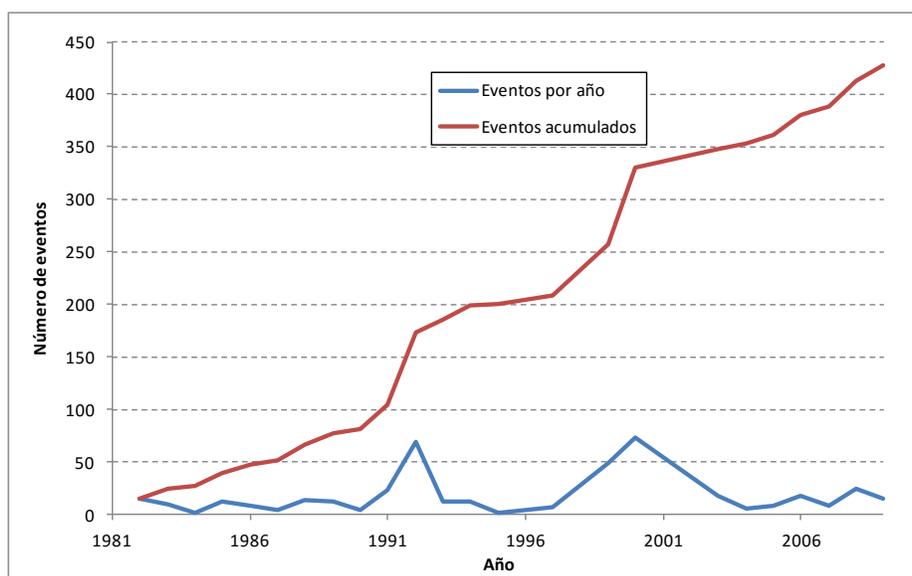


Figura O-1: Número de registros por año

0.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla O-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	6	54	8	6	0
Hidrometeorológicos	307	2080	129	485	83
Sequía	104	0	0	0	0
Tectónicos	11	47	3	91	0

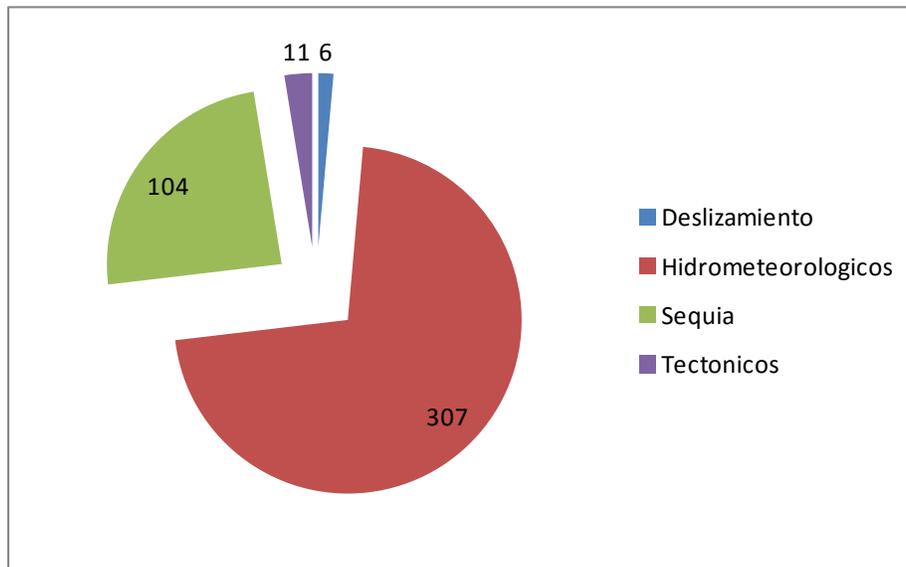


Figura O-2: Distribución de la afectación total por categoría

0.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Jordania, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla O-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla O-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla O-3.

Tabla O-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	6	54	8	6	0
Hidrometeorológicos	170	2080	129	485	83
Sequía	33	0	0	0	0
Tectónicos	10	47	3	91	0

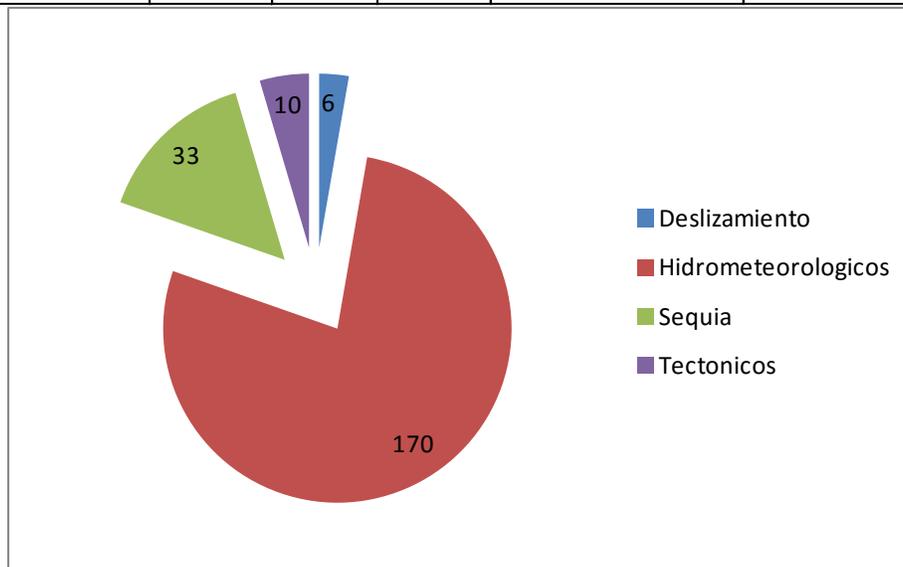


Figura O-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

0.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando

que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla O-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² [USD]	362	362	362	362	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,070	22,792	37,986	24,311	282

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente 1.18% PIBPC + 304.74
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla O-4 y a la afectación presentada en la Tabla O-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla O-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla O-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	6	0	1.152.420	48.018	192.07
Hidrometeorológicos	170	7	51.885.728	2.161.905	305.21
Sequía	33	1	0	0	0
Tectónicos	10	0	370.37	15.432	37.037
TOTAL 24 años	219	9	53.408.518	2.225.355	243.875

Las Figuras O-4 y O-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

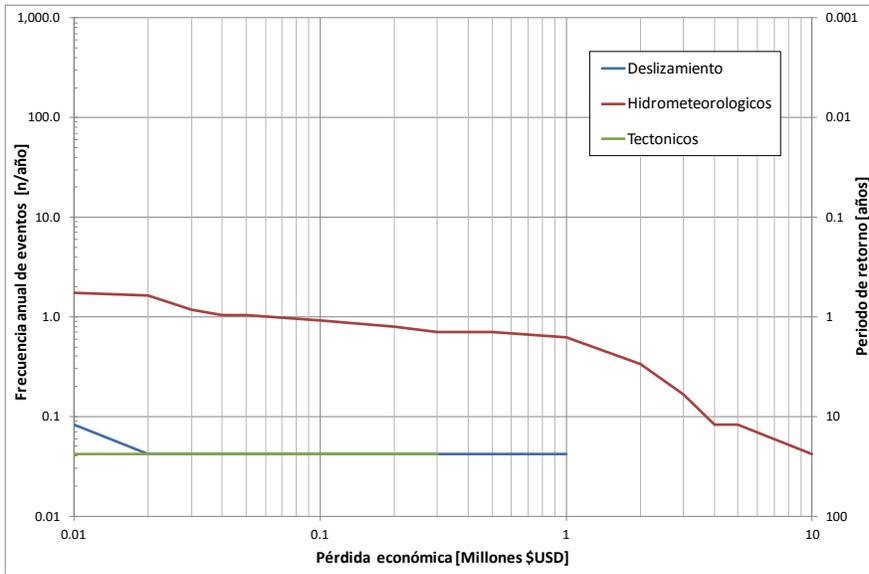


Figura O-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

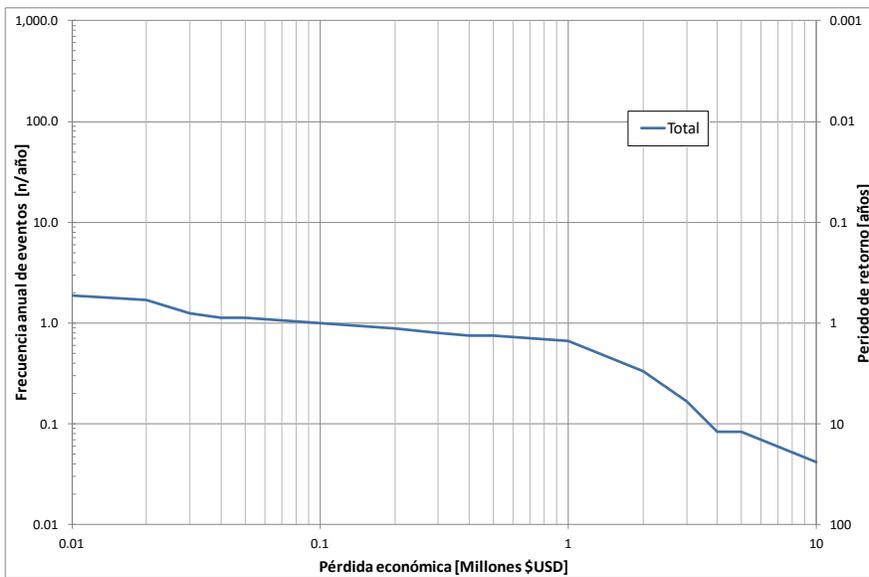


Figura O-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

P Laos

P.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Laos contiene registros que datan desde 1990 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1996 - 2011. La Figura P-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

Se retiraron del análisis realizado eventos reportados en 2010 con una afectación superior a 2 millones de escuelas (4 registros) y los eventos reportados en el mismo año con una afectación superior a 200,000 km de vías (2 registros).

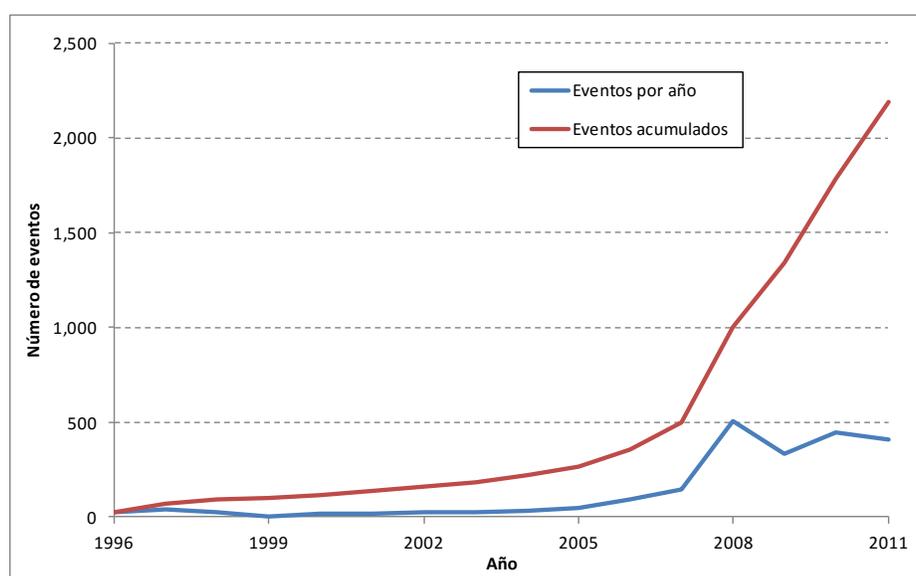


Figura P-1: Número de registros por año

P.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.

- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla P-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Hidrometeorológicos	2025	46680	165	107629	18153
Sequía	161	0	0	69	6117

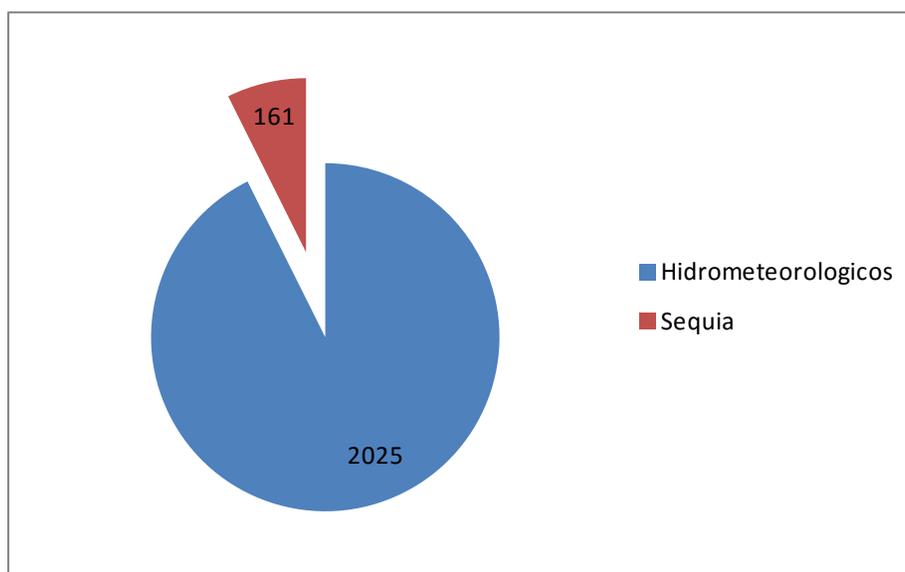


Figura P-2: Distribución de la afectación total por categoría

P.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Laos, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo "level0" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla P-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla P-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla P-3.

Tabla P-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Hidrometeorológicos	691	46680	165	107629	18153
Sequía	80	0	0	69	6117

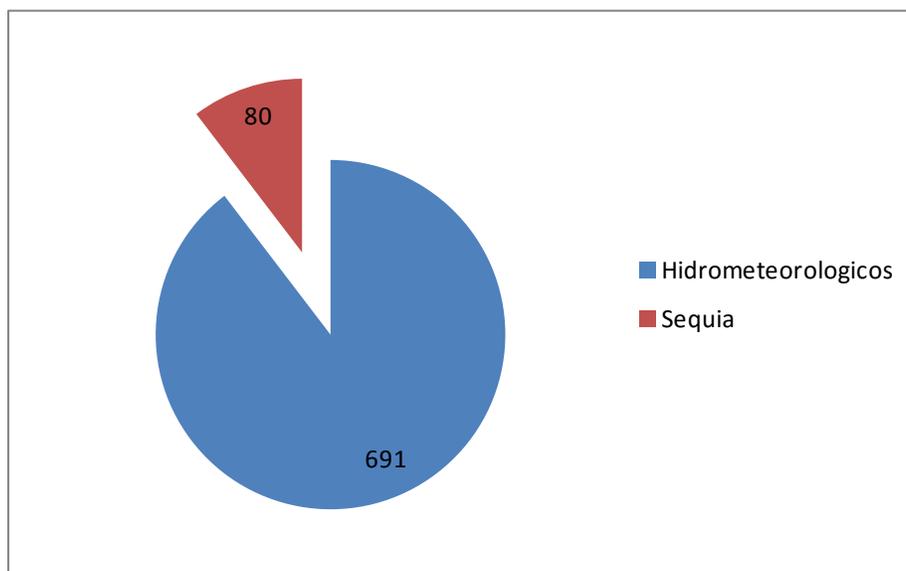


Figura P-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

P.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales

principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla P-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruídas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	319	319	319	319	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,588	20,093	33,489	21,433	74

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente 1.18% PIBPC + 304.74
- 2 Entre los costos que engloba este concepto están: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención médica de urgencias básicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos médicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla P-4 y a la afectación presentada en la Tabla P-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla P-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla P-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Hidrometeorológicos	691	43	771.873.907	48.242.119	1.117.039
Sequia	80	5	123.162.225	7.697.639	1.539.528
TOTAL 16 años	771	48	895.036.132	55.939.758	1.160.877

Las Figuras P-4 y P-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

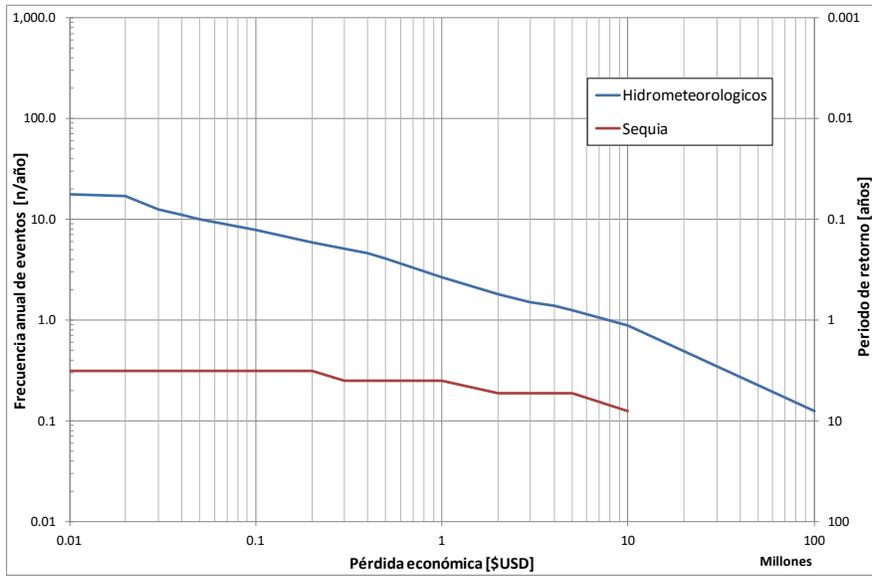


Figura P-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

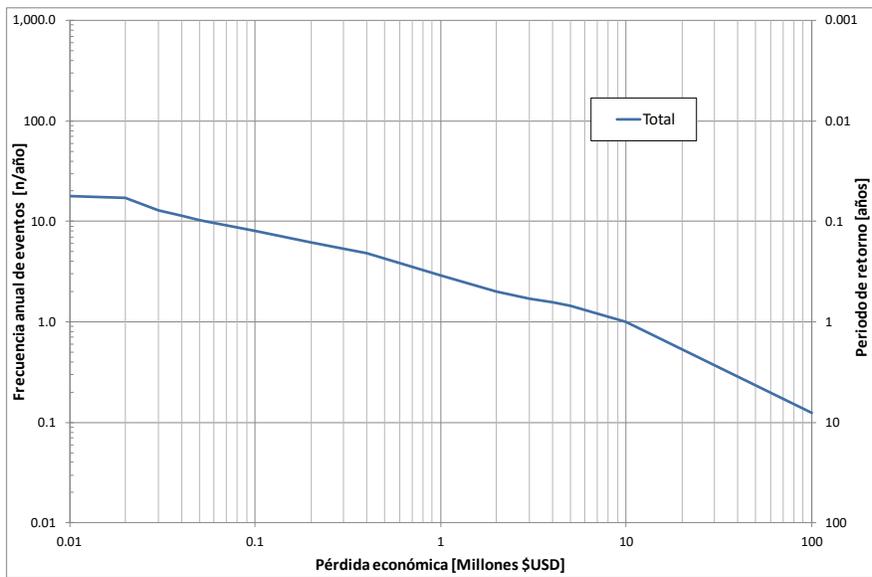


Figura P-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

Q Mozambique

Q.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Mozambique contiene registros que datan desde 1979 hasta 2009. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1993 - 2009. La Figura Q-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

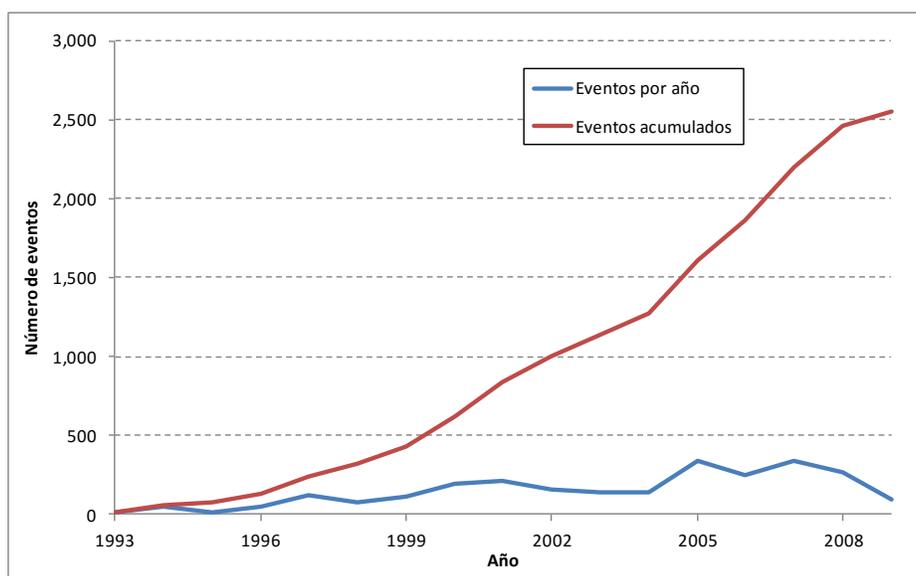


Figura Q-1: Número de registros por año

Q.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla Q-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	7	14	74	0	211
Hidrometeorológicos	1733	1114	2588	159688	666808
Sequía	800	0	571	0	0
Tectónicos	8	36	4	12	288

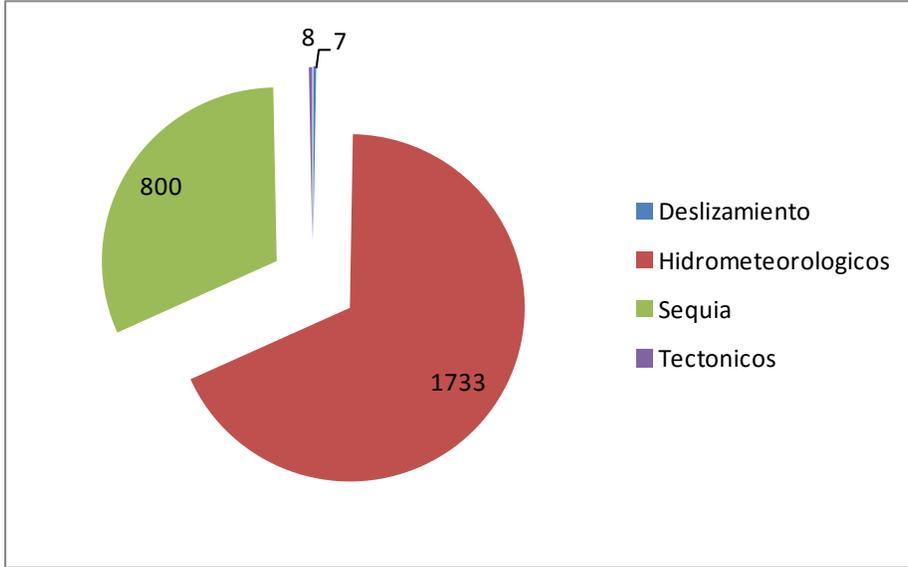


Figura Q-2: Distribución de la afectación total por categoría

Q.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Mozambique, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla Q-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla Q-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla Q-3.

Tabla Q-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	4	11	71	0	211
Hidrometeorológicos	675	1117	2591	159688	666808
Sequía	246	0	571	0	0
Tectónicos	6	36	4	12	288

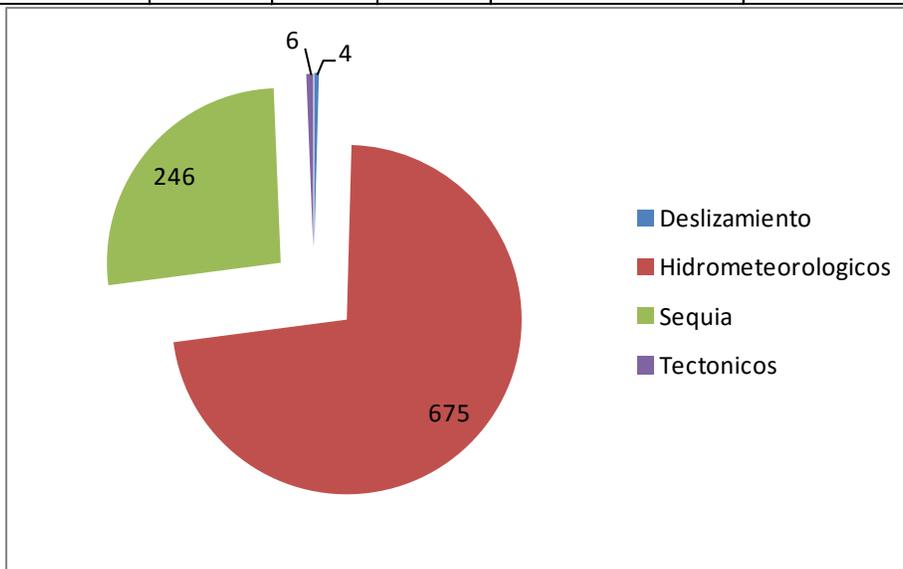


Figura Q-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

Q.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando

que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla Q-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² [USD]	312	312	312	312	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,506	19,632	32,720	20,941	91

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla Q-4 y a la afectación presentada en la Tabla Q-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla Q-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla Q-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	4	0	4.142.352	243.668	1.035.588
Hidrometeorológicos	675	40	13.884.554.453	816.738.497	20.569.710
Sequía	246	14	182.972	10.763	744
Tectónicos	6	0	5.699.594	335.270	949.932
TOTAL 17 años	931	54	13.894.579.371	817.328.198	14.924.360

Las Figuras Q-4 y Q-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

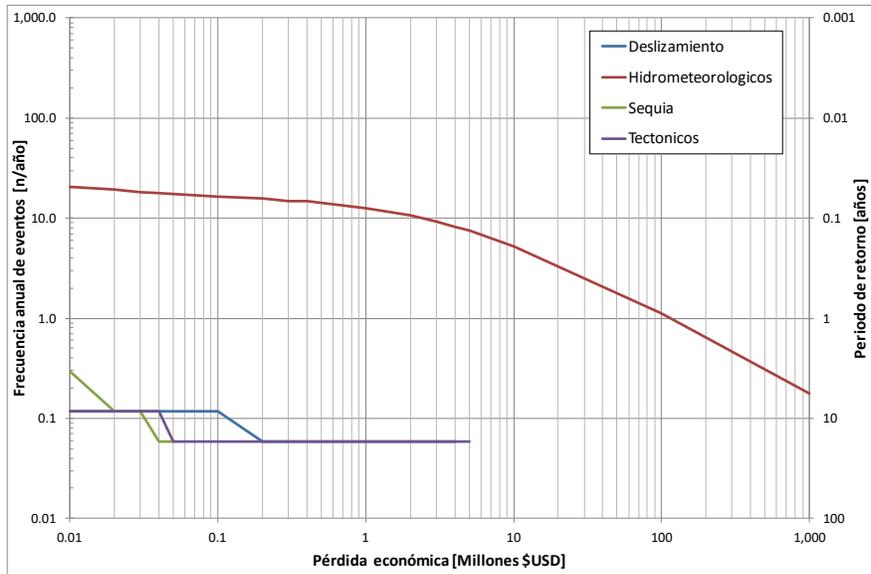


Figura Q-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

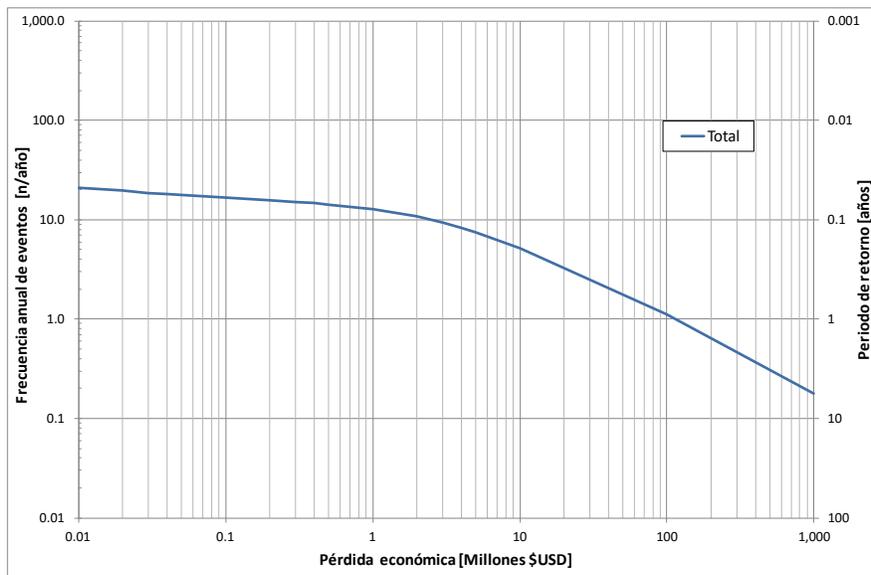


Figura Q-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

R Panamá

R.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Panamá contiene registros que datan desde 1929 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1986 - 2011. La Figura R-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

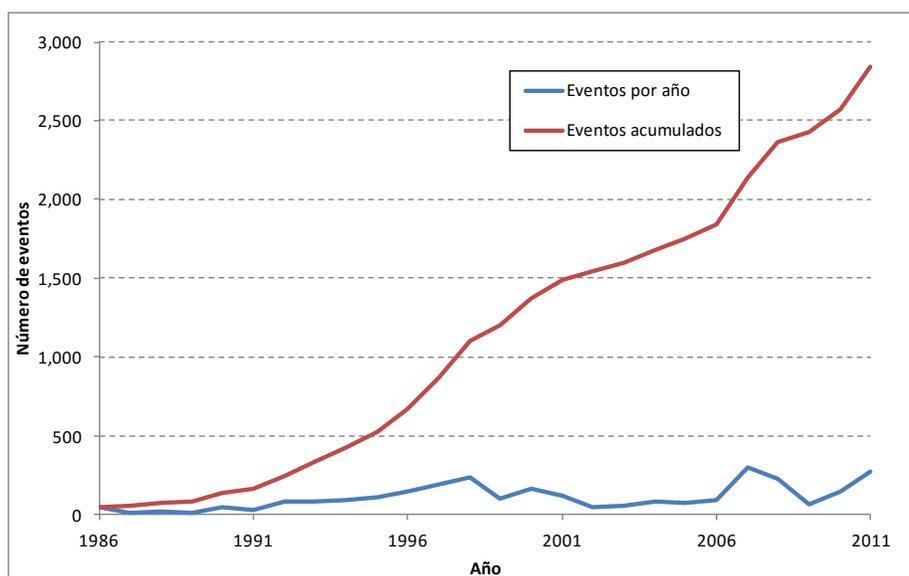


Figura R-1: Número de registros por año

R.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla R-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	449	50	70	2054	115
Hidrometeorológicos	2193	1019	247	91538	10154
Huracán	72	74	24	981	725
Sequía	23	0	0	0	0
Tectónicos	105	246	2	1007	680

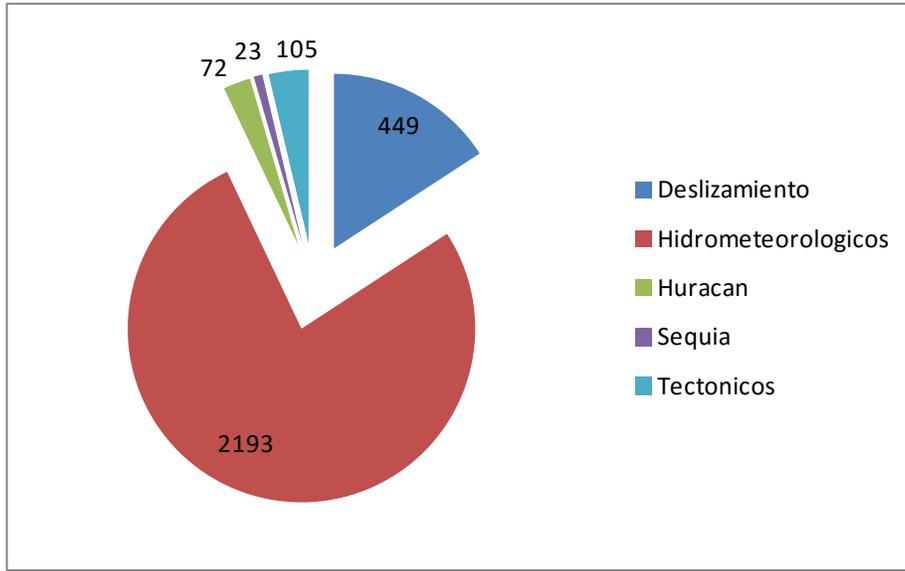


Figura R-2: Distribución de la afectación total por categoría

R.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Panamá, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla R-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla R-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla R-3.

Tabla R-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	199	31	45	502	72
Hidrometeorológicos	1138	938	272	90786	10117
Huracán	53	174	24	3285	805
Sequía	22	0	0	0	0
Tectónicos	98	246	2	1007	680

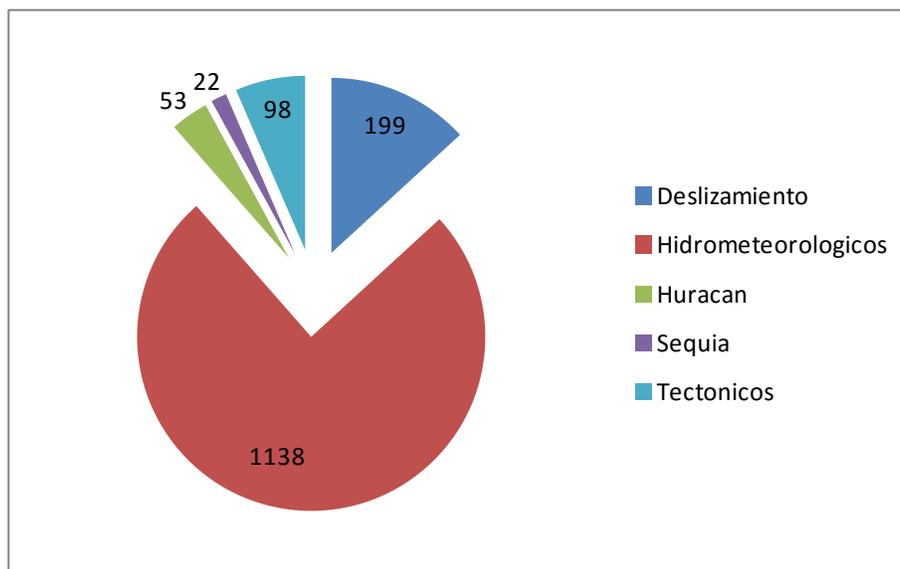


Figura R-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

R.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla R-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	403	403	403	403	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,538	25,411	42,351	27,105	142

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla R-4 y a la afectación presentada en la Tabla R-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla R-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla R-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	199	8	3.219.674	123.834	16.179
Hidrometeorológicos	1.138	44	633.175.233	24.352.894	556.393
Huracán	53	2	33.941.235	1.305.432	640.401
Sequía	22	1	0	0	0
Tectónicos	98	4	21.952.582	844.330	224.006
TOTAL 26 años	1.510	58	692.288.724	26.626.489	458.469

Las Figuras R-4 y R-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

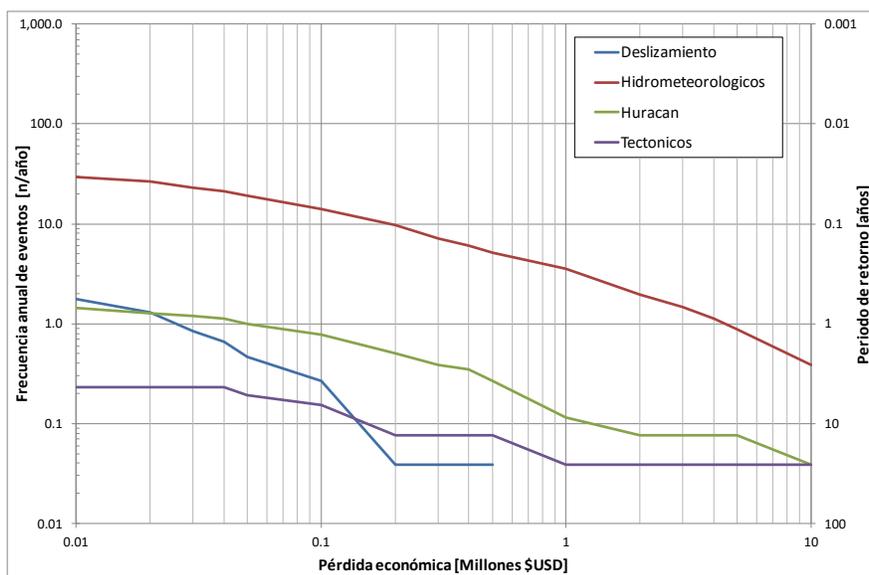


Figura R-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

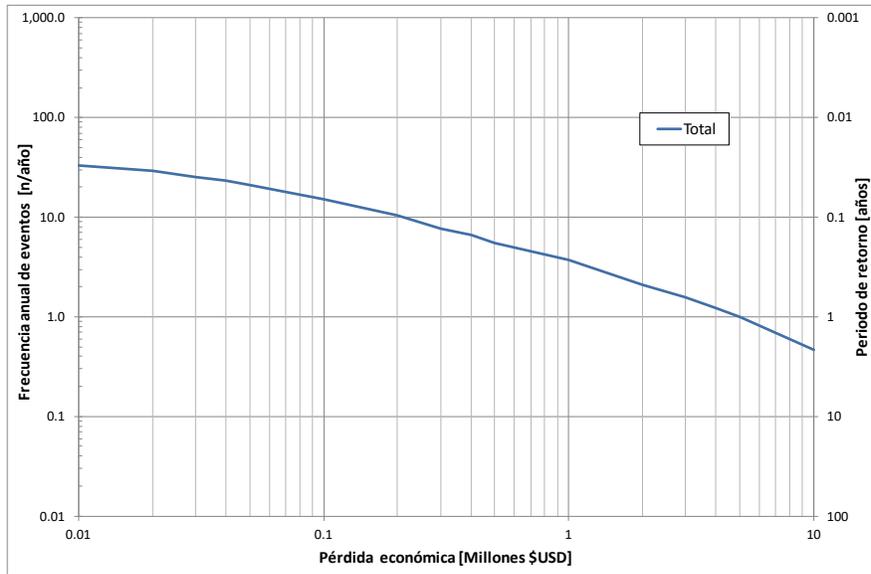


Figura R-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

S Perú

S.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Perú contiene registros que datan desde 1900 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1970 - 2011. La Figura S-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

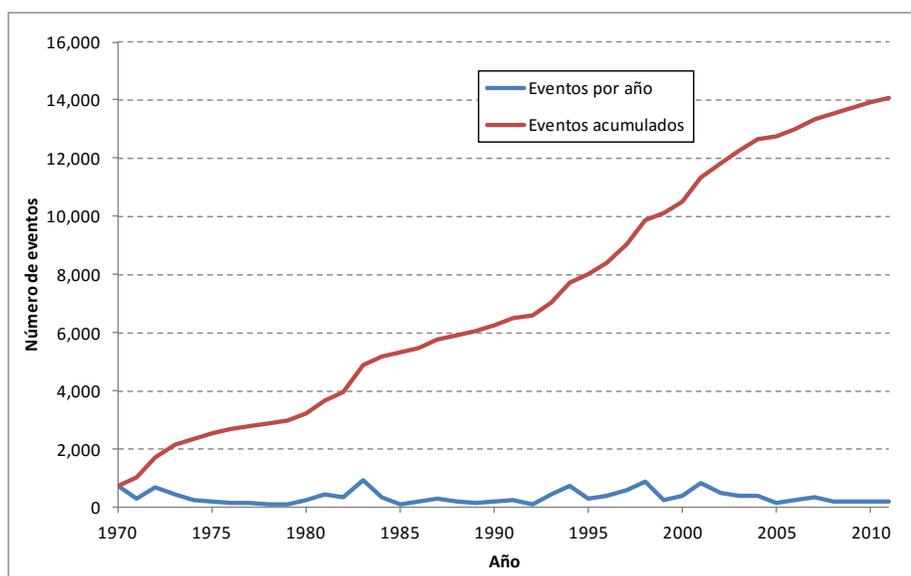


Figura S-1: Número de registros por año

S.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla S-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1362	149	977	4117	2435
Hidrometeorológicos	10768	58920	24310	298015	91615
Sequía	614	976	33	0	0
Tectónicos	1297	8498	15089	140340	372702
Volcánicos	46	0	0	0	0

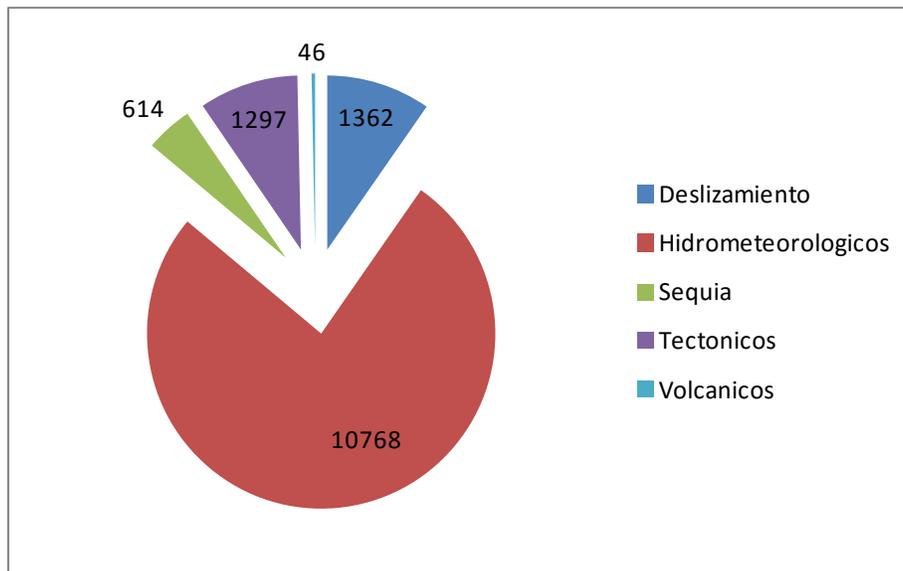


Figura S-2: Distribución de la afectación total por categoría

S.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Perú, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo "level1" de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla S-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla S-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla S-3.

Tabla S-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1065	122	728	3805	1773
Hidrometeorológicos	7538	58947	24345	298327	92277
Sequía	493	976	33	0	0
Tectónicos	549	8498	15303	140340	372702
Volcánicos	28	0	0	0	0

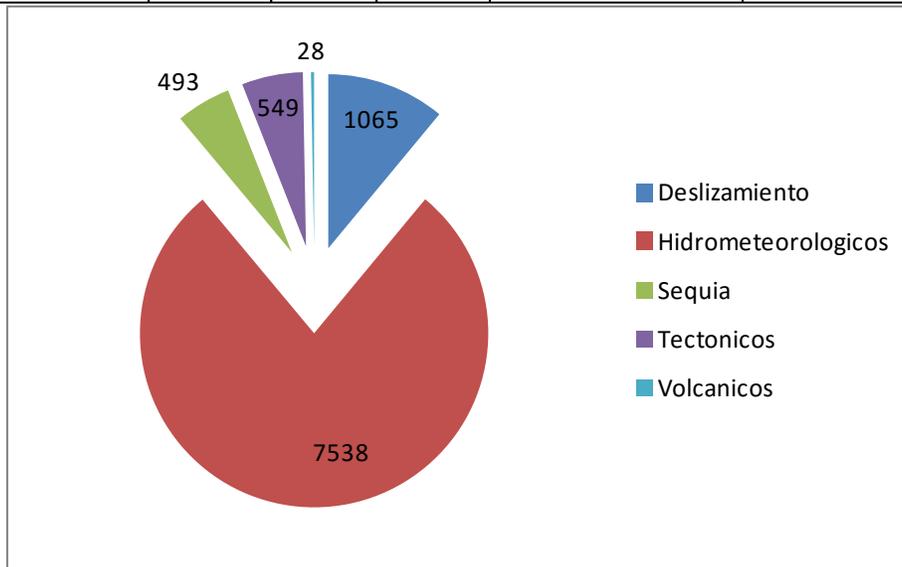


Figura S-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

S.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla S-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	373	373	373	373	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,194	23,484	39,140	25,050	74

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla S-4 y a la afectación presentada en la Tabla S-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla S-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla S-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	1.065	25	106.703.634	2.540.563	100.191
Hidrometeorológicos	7.538	179	2.929.509.796	69.750.233	388.632
Sequía	493	12	0	0	0
Tectónicos	549	13	4.074.070.156	97.001.670	7.420.893
Volcánicos	28	1	8.388	200	300
TOTAL 42 años	9.673	230	7.110.291.974	169.292.666	735.066

Las Figuras S-4 y S-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

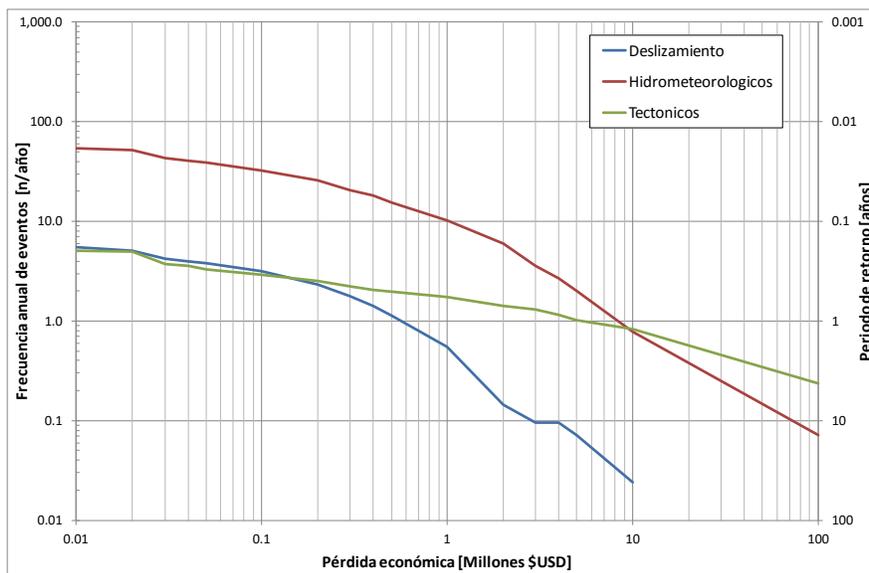


Figura S-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

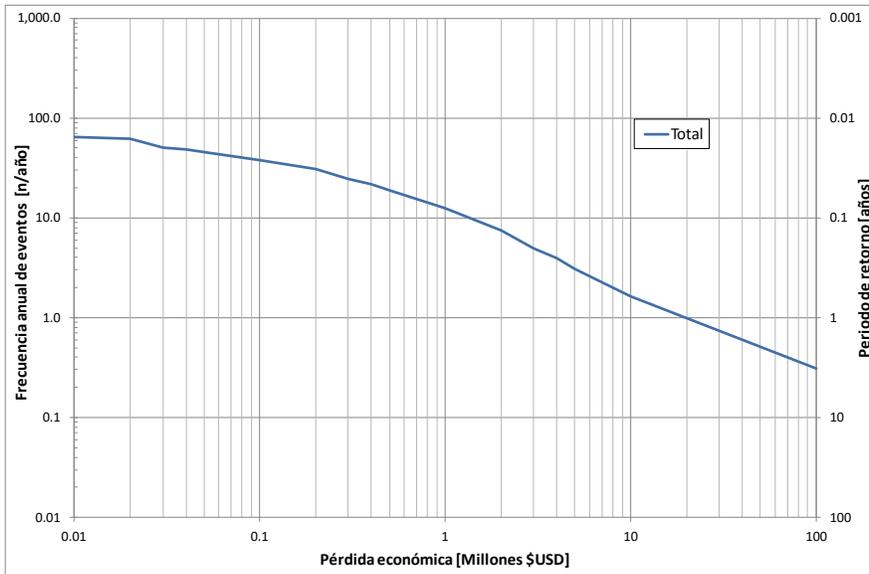


Figura S-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

T Sri Lanka

T.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Sri Lanka contiene registros que datan desde 1965 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1976- 2011. La Figura T-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

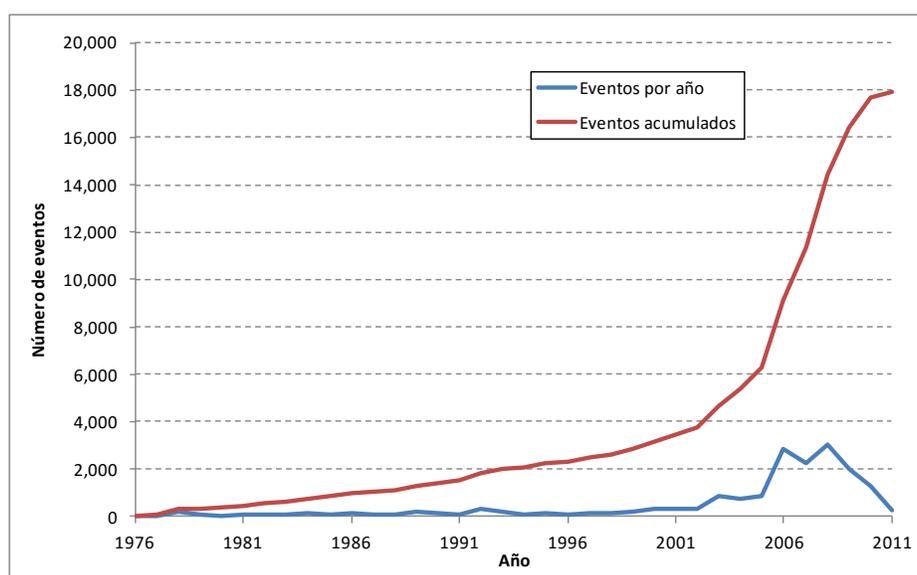


Figura T-1: Número de registros por año

T.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla T-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	2065	263	825	8215	2141
Hidrometeorológicos	11898	933	919	180585	51943
Huracán	1656	721	882	160921	32284
Sequía	1968	0	2	78	10
Tectónicos	355	19618	30973	50052	57155

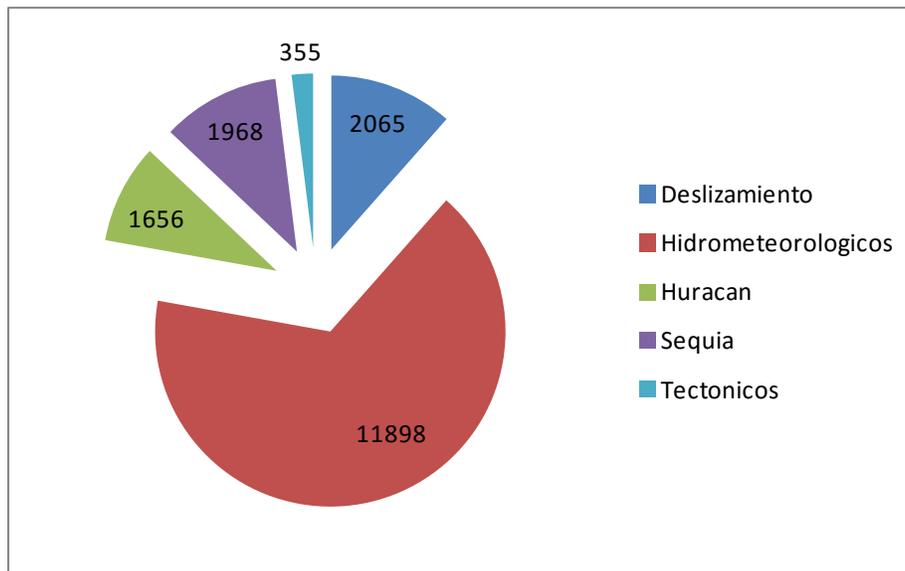


Figura T-2: Distribución de la afectación total por categoría

T.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Sri Lanka, a nivel de Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparán a nivel regional (por Distrito, campo "level1" de la base de datos). Se agruparán los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla T-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla T-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla T-3.

Tabla T-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	516	149	308	2413	555
Hidrometeorológicos	2849	962	1354	172075	51431
Huracán	812	799	945	174039	33969
Sequía	686	0	2	78	10
Tectónicos	156	19625	30992	51246	57568

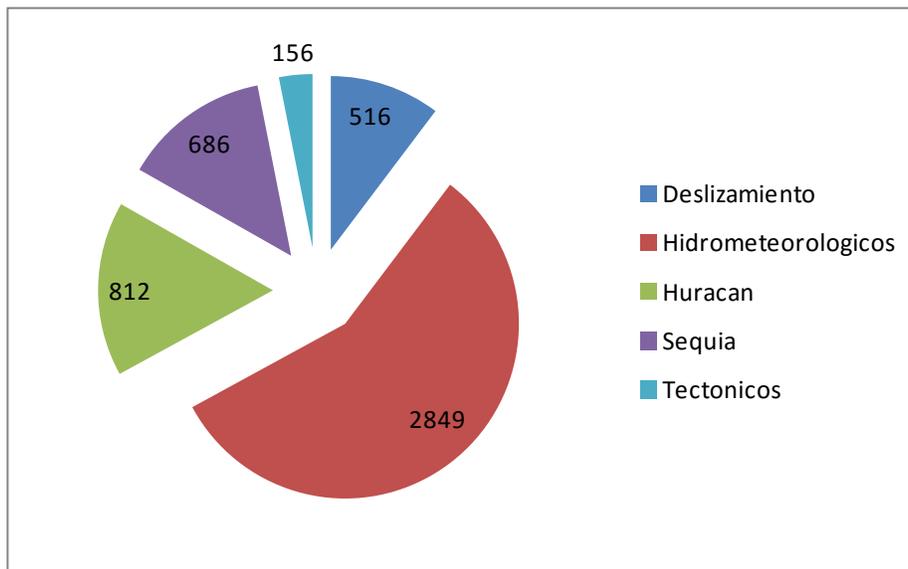


Figura T-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

T.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla T-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	339	339	339	339	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,810	21,334	35,556	22,756	236

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla T-4 y a la afectación presentada en la Tabla T-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla T-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla T-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	516	14	21.074.284	585.397	40.842
Hidrometeorológicos	2.849	79	1.753.978.304	48.721.620	615.647
Huracán	812	23	1.388.203.842	38.561.218	1.709.611
Sequía	686	19	510.520	14.181	744
Tectónicos	156	4	1.423.418.212	39.539.395	9.124.476
TOTAL 36 años	5.019	139	4.587.185.162	127.421.810	913.964

Las Figuras T-4 y T-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

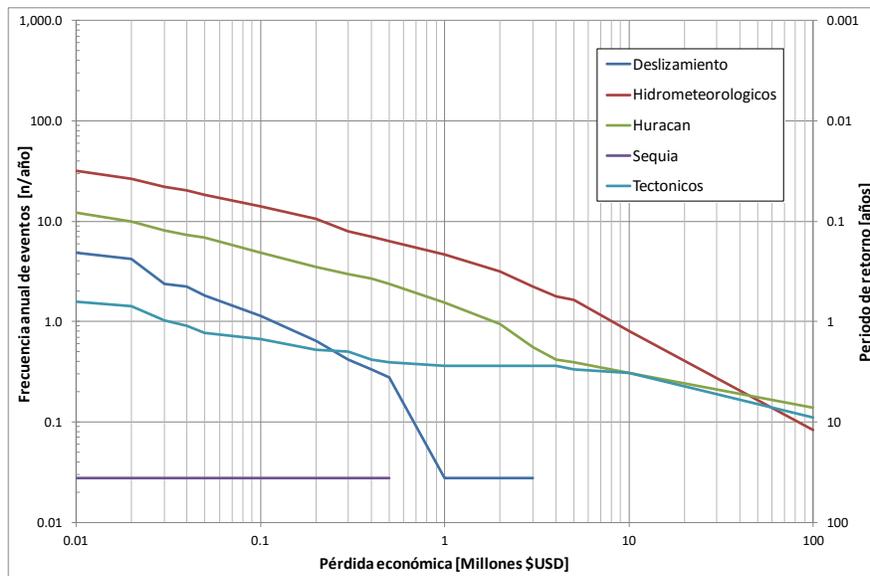


Figura T-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

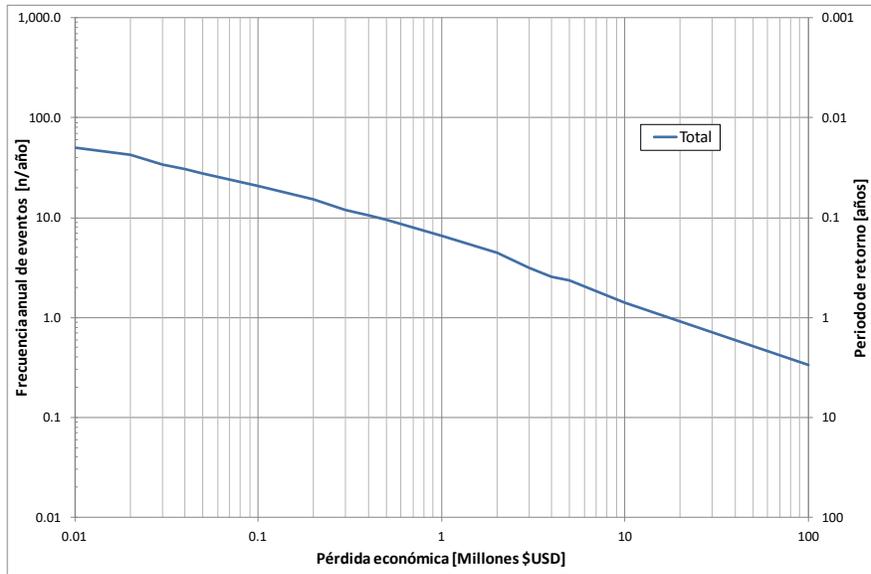


Figura T-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

U Venezuela

U.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Venezuela contiene registros que datan desde 1530 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1970 - 2011. La Figura U-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

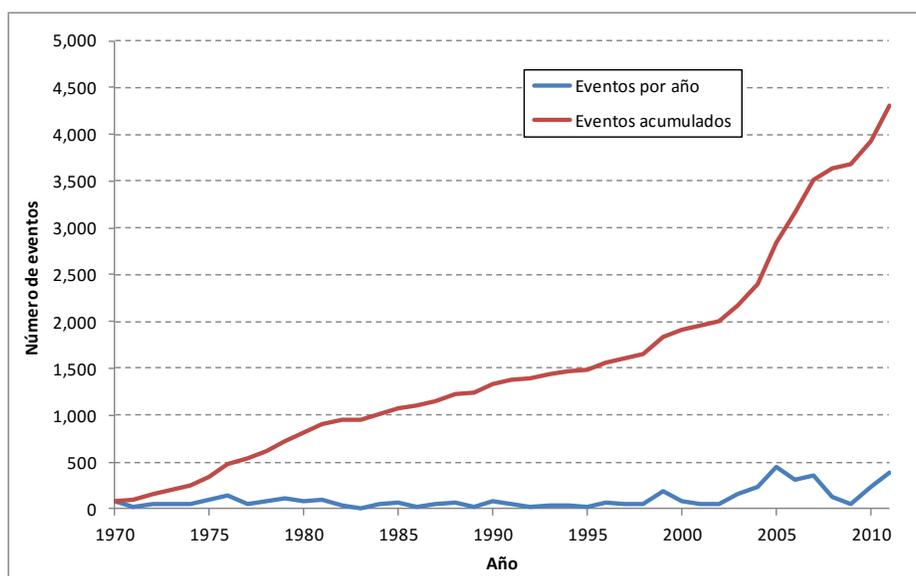


Figura U-1: Número de registros por año

U.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla U-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	1349	323	1553	16906	13741
Hidrometeorológicos	2827	37	2592	243131	95368
Huracán	36	0	91	1520	190
Sequía	18	0	0	0	0
Tectónicos	80	16	190	1055	1148
Volcánicos	1	0	0	0	0

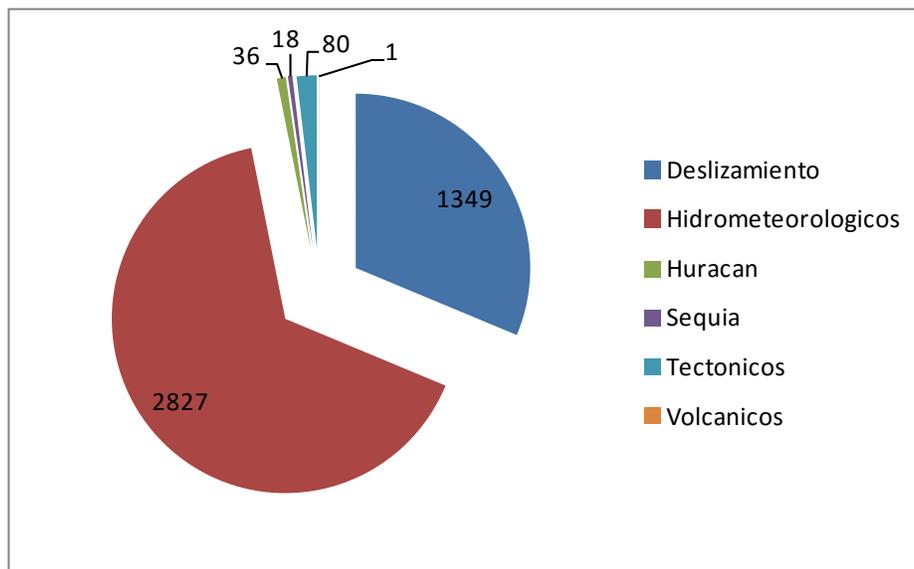


Figura U-2: Distribución de la afectación total por categoría

U.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Venezuela, a nivel de Municipio, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparon a nivel regional (por Estado, campo "level0" de la base de datos). Se agruparon los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla U-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla U-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla U-3.

Tabla U-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	839	23	743	13603	11979
Hidrometeorológicos	1807	337	3402	246414	97033
Huracán	29	0	91	1540	200
Sequía	16	0	0	0	0
Tectónicos	62	16	190	1055	1235
Volcánicos	1	0	0	0	0

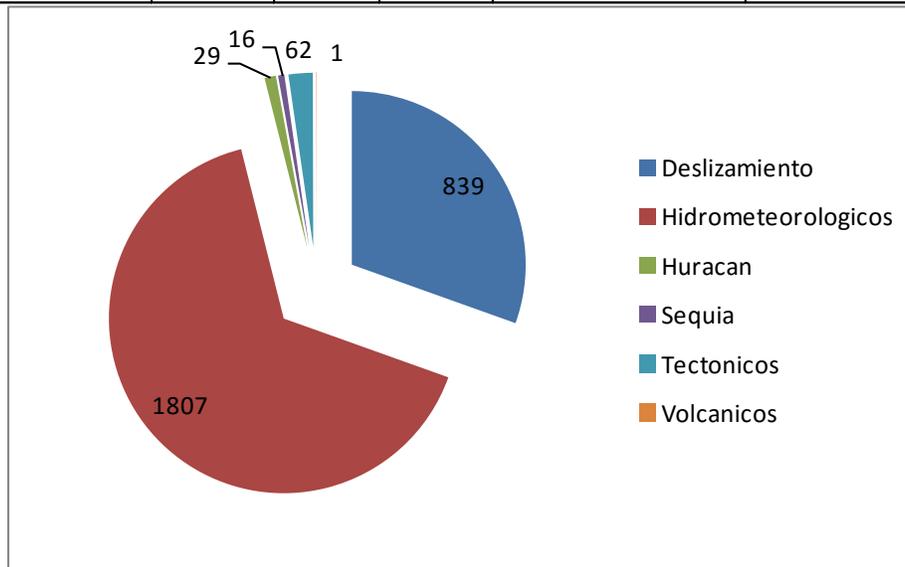


Figura U-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

U.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla U-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² ¹ [USD]	433	433	433	433	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	4,870	27,273	45,456	29,092	122

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m²
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla U-4 y a la afectación presentada en la Tabla U-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla U-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla U-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	839	20	171.228.550	4.076.870	204.086
Hidrometeorológicos	1.807	43	1.950.909.189	46.450.219	1.079.640
Huracán	29	1	13.033.296	310.317	449.424
Sequía	16	0	21.940	522	1.371
Tectónicos	62	1	39.158.642	932.349	631.591
Volcánicos	1	0	0	0	0
TOTAL 42 años	2.754	65	2.174.351.617	51.770.277	789.525

Las Figuras U-4 y U-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

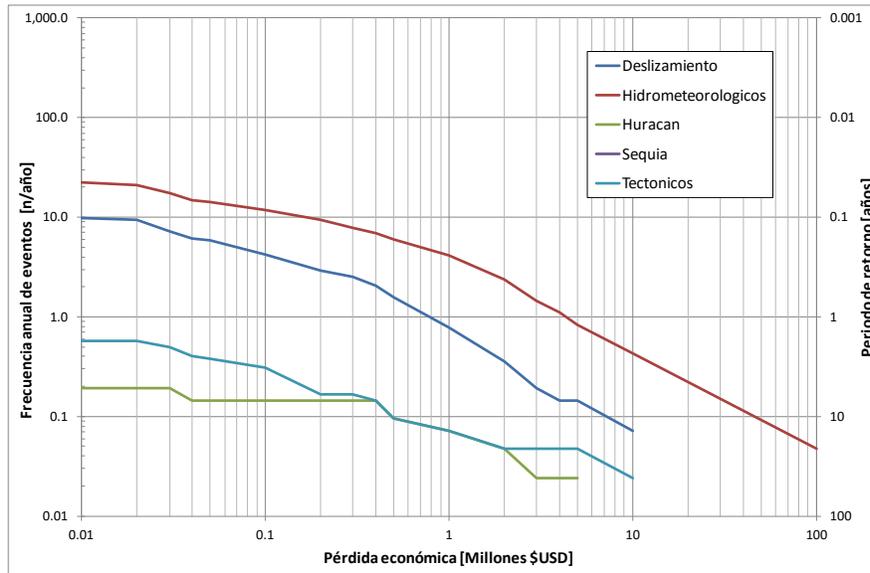


Figura U-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

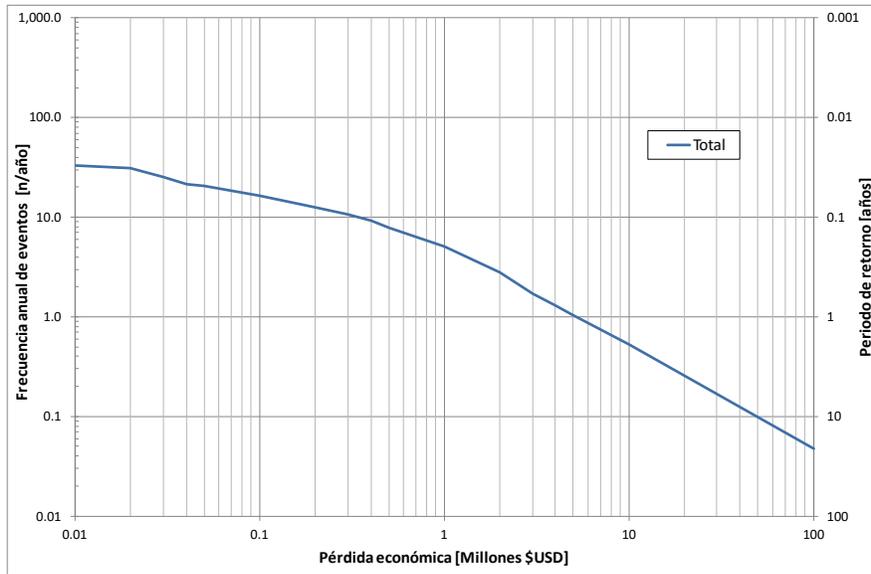


Figura U-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

V Vietnam

V.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Vietnam contiene registros que datan desde 1989 hasta 2010. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó la totalidad del periodo para ejecutar el análisis. La Figura V-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

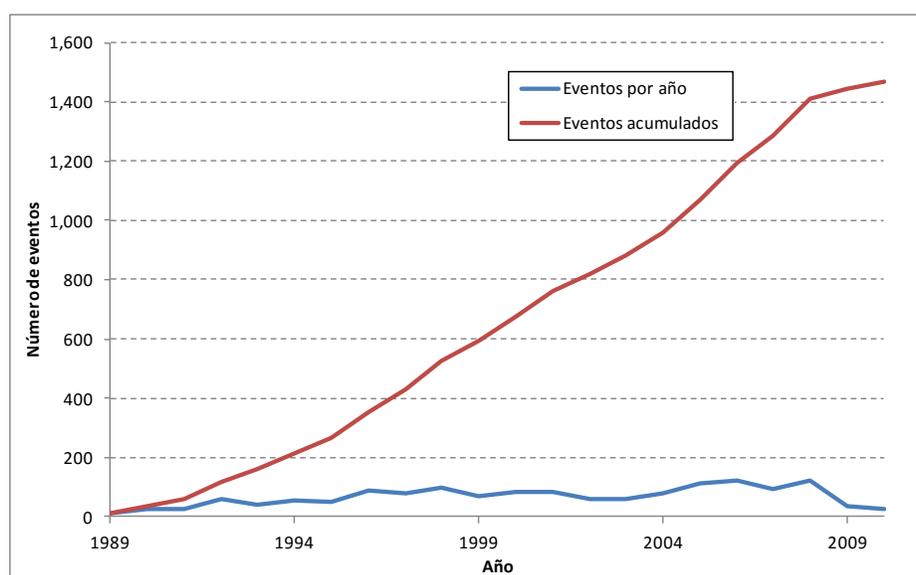


Figura V-1: Número de registros por año

V.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla V-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	60	102	288	9192	1185
Hidrometeorológicos	1339	101373	9279	637697	676484
Huracán	70	175	374	970	3115

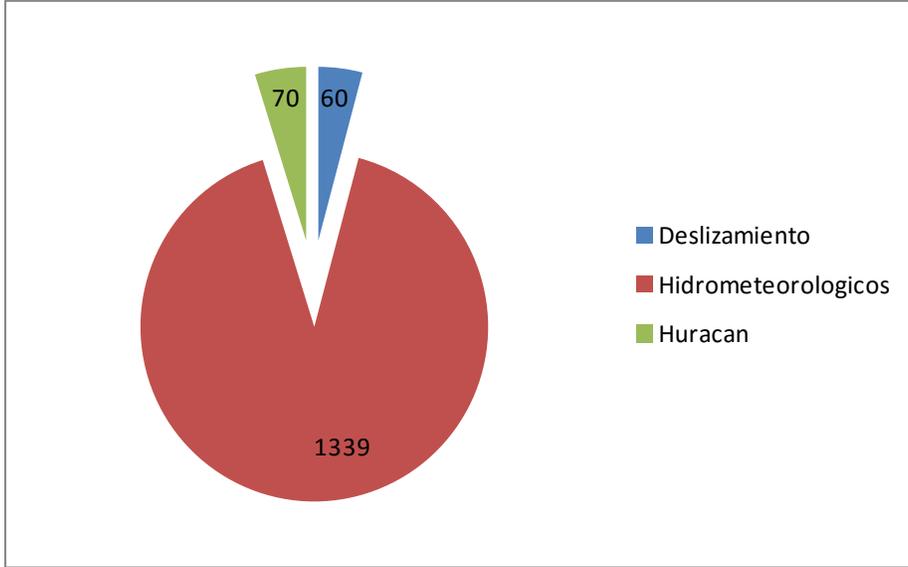


Figura V-2: Distribución de la afectación total por categoría

V.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Vietnam, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla V-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla V-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla V-3.

Tabla V-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	53	95	273	8818	997
Hidrometeorológicos	1270	101380	9294	637417	676651
Huracán	70	175	374	1624	3136

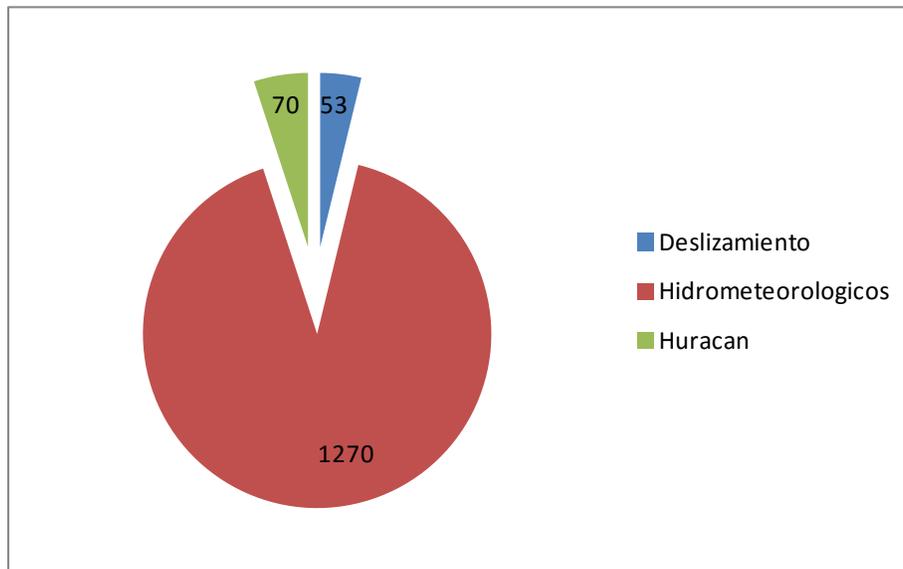


Figura V-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

V.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando

que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla V-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² [USD]	321	321	321	321	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,610	20,218	33,696	21,566	155

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla V-4 y a la afectación presentada en la Tabla V-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla V-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla V-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	53	2	51.990.326	2.363.197	980.950
Hidrometeorológicos	1.270	58	15.981.605.288	726.436.604	12.583.941
Huracán	70	3	69.266.288	3.148.468	989.518
TOTAL 22 años	1.393	63	16.102.861.902	731.948.268	11.559.843

Las Figuras V-4 y V-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

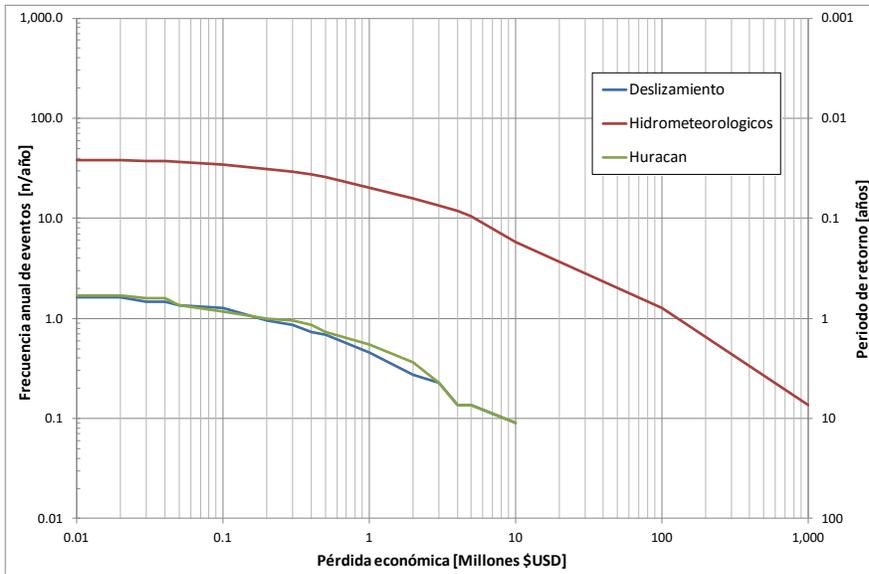


Figura V-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

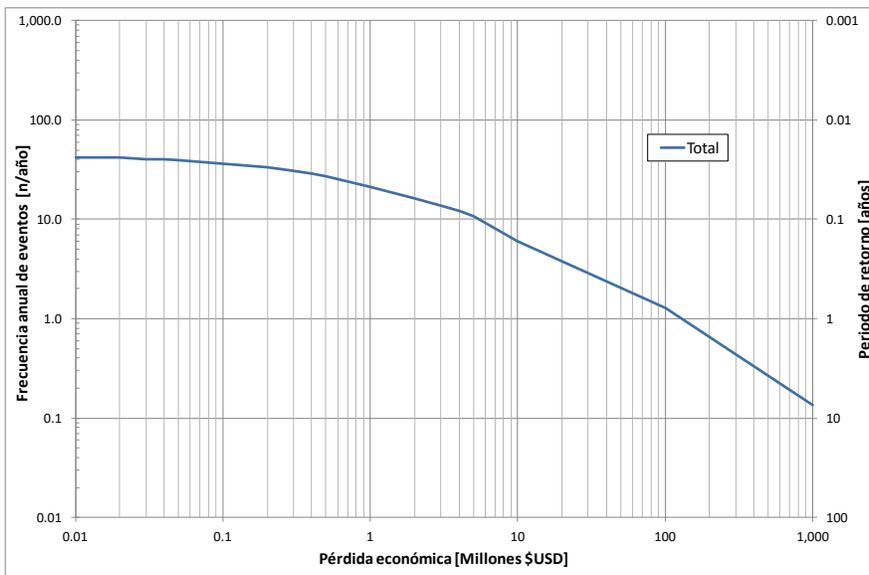


Figura V-5: Curva de excedencia de pérdidas totales

W Yemen

W.1 Base de datos de desastres

La base de datos de desastres de Yemen contiene registros que datan desde 1971 hasta 2011. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1982- 2010. La Figura W-1 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año.

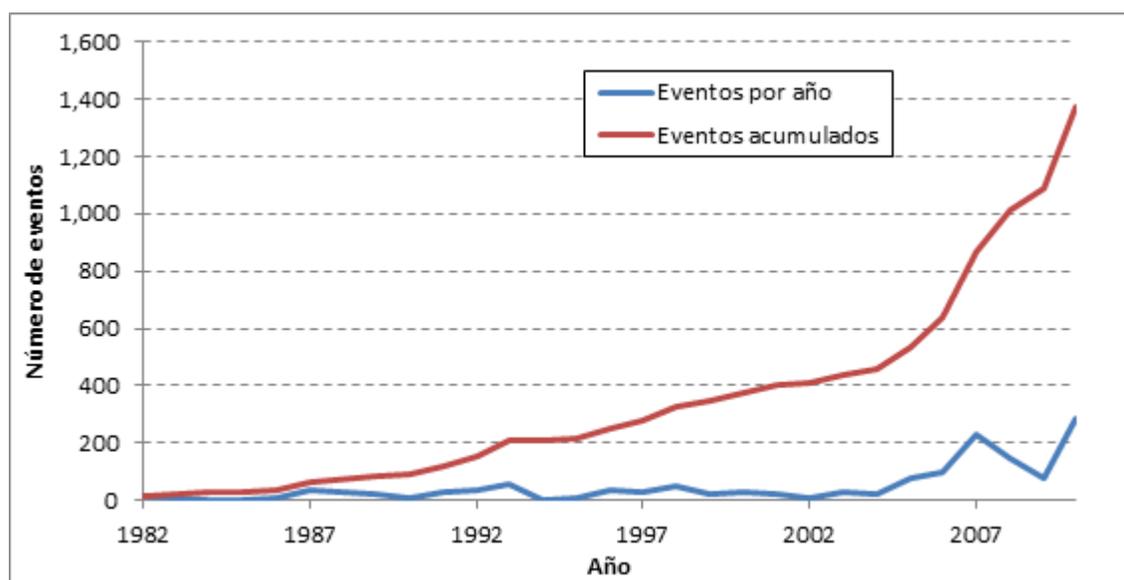


Figura W-1: Número de registros por año

W.2 Categorías de amenazas y asignación de causas

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparan las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos.

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequia: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debida a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

Tabla W-1: Afectación total por categoría

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	188	36	221	211	151
Hidrometeorológicos	371	712307	1317	12106	8961
Sequía	6	155	0	0	0
Tectónicos	808	351668	2128	24683	12834

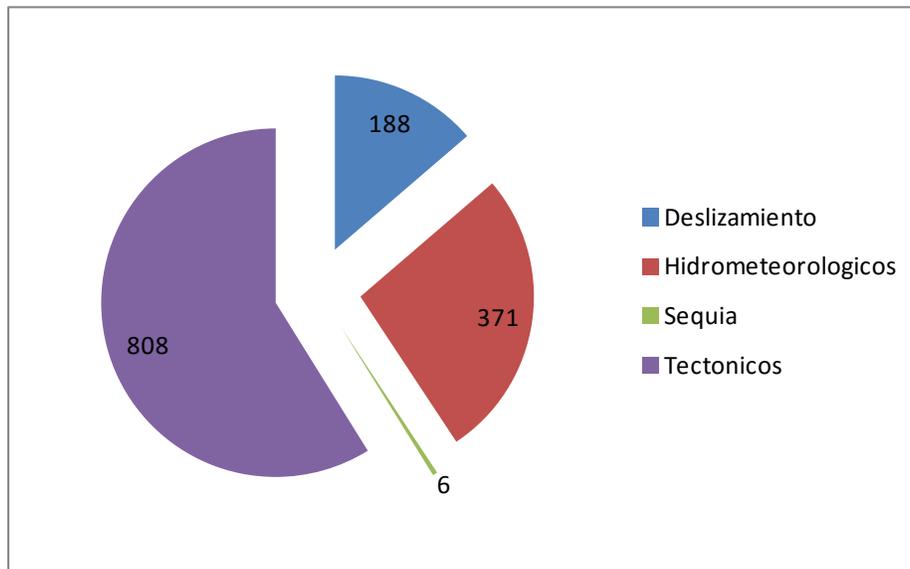


Figura W-2: Distribución de la afectación total por categoría

W.3 Agrupación

Los registros de la base de datos han sido almacenados a nivel local, esto es, en el caso de Yemen, a nivel de Distrito, por lo que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agruparan a nivel regional (por Provincia, campo “level0” de la base de datos). Se agruparan los registros presentes en la base de datos empleando parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo a las relaciones temporales, establecidas en la Tabla W-2, entre las categorías.

Los parámetros temporales toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados, también considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros cercanos ocurridos.

Tabla W-2: Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla W-3.

Tabla W-3: Resumen de afectación después de la agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Deslizamiento	120	29	188	107	141
Hidrometeorológicos	255	712310	1341	12110	8965
Sequía	6	155	0	0	0
Tectónicos	487	351672	2137	24783	12840

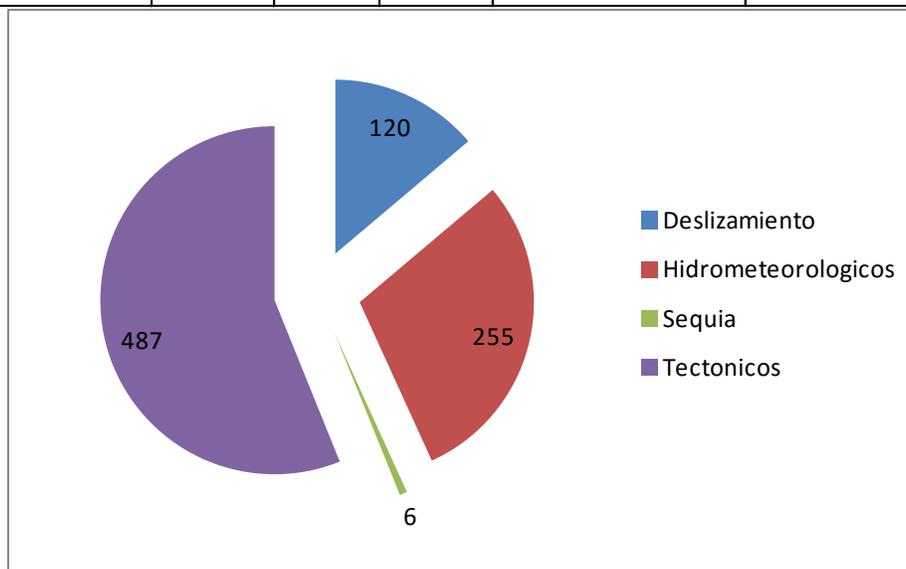


Figura W-3: Distribución de la afectación total por categoría después de la agrupación

W.4 Valoración y curva de excedencia de pérdidas

La valoración económica de los registros agrupados se realizara estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando

que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará con la reparación de las viviendas afectadas.

Tabla W-4: Costos unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos ³	Centros de Salud ⁴	Vías
Área [m2]	45	45	75	48	
Valor/m ² [USD]	320	320	320	320	
Urbanismo ² [%]	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [\$US/unidad]	3,603	20,175	33,625	21,520	62

- 1 Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74$
- 2 Entre los costos que engloba este concepto estan: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.
- 3 Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m2
- 4 Área estimada considerando una sala de espera (3x4), un consultorio (3x4), una zona de atención medica de urgencias basicas y primeros auxilios (5x4) y áreas de almacenamiento (insumos medicos y mantenimiento).
- 5 El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla W-4 y a la afectación presentada en la Tabla W-3, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla W-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla W-5: Pérdidas por categoría

Categoría	Eventos	Eventos por año	Pérdida acumulada	Pérdida anual	Pérdida promedio por evento
Deslizamiento	120	4	3.507.609	125.272	29.230
Hidrometeorológicos	255	9	225.070.602	8.038.236	882.630
Sequía	6	0	0	0	0
Tectónicos	487	17	349.574.410	12.484.800	717.812
TOTAL 28 años	868	31	578.152.621	20.648.308	666.074

Las Figuras W-4 y W-5 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

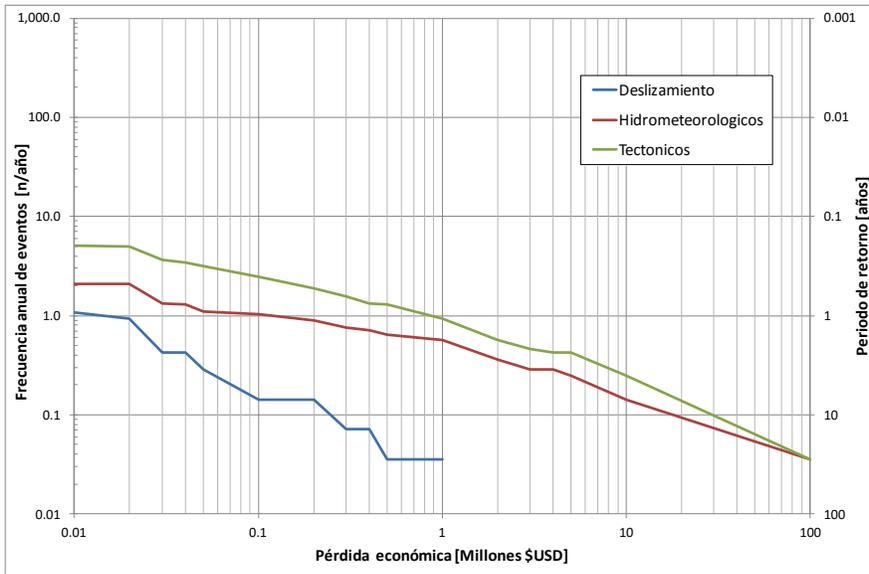


Figura W-4: Curva de excedencia de pérdidas por categoría

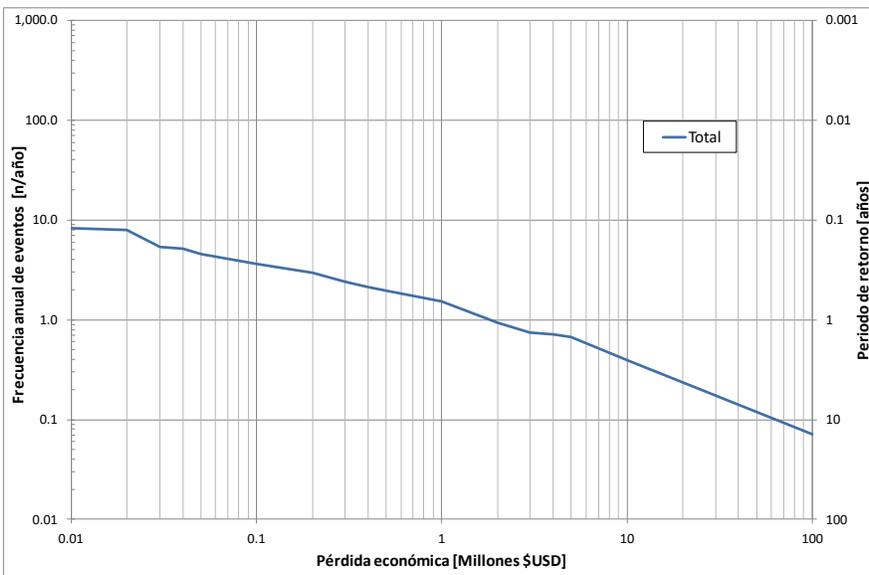


Figura W-5: Curva de excedencia de pérdidas totales