

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



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**

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

**Autor:  
Mabel Cristina Marulanda Fraume**

**Directores:  
Dr. Alex H. Barbat  
Dr. Omar D. Cardona**

**Barcelona, abril de 2013**



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera muy especial a mis directores de tesis, Alex Barbat y Omar Darío Cardona, por su orientación, por su interés y entusiasmo y por sus ideas, consejos y apoyo para realizar esta tesis doctoral. Por facilitar y promover mi participación en diferentes proyectos y experiencias que han ayudado a mi formación profesional.

Agradezco sinceramente al profesor Mario Gustavo Ordaz y al profesor Álvaro Martín Moreno por sus importantes contribuciones en este trabajo. Quiero también agradecer a las personas del grupo de trabajo en Bogotá y Barcelona por su apoyo incondicional, por la paciencia y la buena disposición para cualquier explicación, para solucionar cualquier inquietud y por la motivación que me contagiaban y que han contribuido de manera esencial en el desarrollo de esta tesis.

Igualmente, quiero dar las gracias a todas las personas de mi ámbito profesional que han estado presentes en alguna fase de este proceso, los cuales han contribuido a llevar a cabo esta experiencia profesional y personal.

Por otro lado, quiero agradecer a mis amigos del alma, de aquí, de allá, de todos lados, de todo el tiempo o de un pedacito de tiempo, a los que estuvieron y ya no están, que le han dado una mezcla de colores especiales no sólo al camino del doctorado sino al de la vida misma y que con su amistad me motivaron y me dieron cuerda para concluir este esfuerzo.

Finalmente quiero agradecer a mi familia por el apoyo, los ánimos y por creer en que yo podría llevar a cabo este aporte a la sociedad.



## RESUMEN

El riesgo sísmico y en general los desastres futuros que puede sufrir una ciudad, una región o un país significan una obligación o pasivo contingente no explícito que puede afectar, desde el punto de vista macroeconómico, la sostenibilidad fiscal del Estado. En otras palabras, del riesgo de desastre se deriva una exposición fiscal que debe ser dimensionada de acuerdo con la responsabilidad del Estado, el cual es un tomador de riesgo, consciente o no, que debe formular una estrategia para afrontar dicho riesgo y, así, evitar efectos económicos adversos que afecten su sostenibilidad económica. En esta investigación se ilustra el porqué tanto los desastres extremos como los desastres menores recurrentes significan una exposición fiscal y son pasivos contingentes que deben tenerse en cuenta en el balance contable de las naciones.

La evaluación de la vulnerabilidad fiscal frente a desastres depende del potencial de pérdidas económicas que puede llegar a tener un país y de la capacidad o resiliencia económica que tiene para afrontarlas y llevar a cabo la reposición o reconstrucción post-desastre. Aquí se sustenta que la forma más apropiada para llevar a cabo dicha evaluación es utilizando modelos probabilistas de riesgo que den cuenta del potencial de pérdidas máximas esperadas para un período de retorno y de modelos analíticos que permitan determinar la capacidad o el acceso a recursos económicos que permitan cubrir el déficit que puede generar un desastre. El presente documento presenta el tipo de técnicas actuariales con las cuales se puede dimensionar la exposición fiscal, evaluando en forma probabilista el daño estructural y las pérdidas que se derivan sobre los activos o bienes inmuebles de responsabilidad del Estado. La modelización probabilista del riesgo catastrófico y el inventario de efectos económicos de los eventos menores recurrentes son insumos fundamentales para proyectar mecanismos financieros factibles y estructuras alternativas de retención y transferencia del riesgo de acuerdo con análisis de optimización financiera. Dicha modelización actuarial permite proponer índices para asignar la prioridad de rehabilitación o refuerzo estructural de inmuebles utilizando la relación beneficio-costos de este tipo de intervenciones. Se presenta una descripción de los instrumentos financieros que se podrían explorar para definir una estrategia óptima de protección financiera.

Se describe la aplicación de la modelización probabilista del riesgo sísmico a nivel urbano para el caso de Manizales, Colombia, con el propósito de ilustrar el diseño del seguro colectivo voluntario por terremoto para las edificaciones privadas, que actualmente está operando, cubriendo a los estratos sociales de bajos ingresos de la ciudad a través de un subsidio cruzado. También se presenta el cálculo del riesgo sísmico y las estrategias financieras de gestión del riesgo para Bogotá, Colombia, y la evaluación del riesgo sísmico de Barcelona, España, utilizando métricas probabilistas. Finalmente se incluye el análisis de riesgo sísmico del portafolio de edificaciones públicas de Colombia, para ilustrar un análisis de riesgo a nivel de un país y los resultados de riesgo, utilizando indicadores, para los países de las Américas y a nivel mundial, con el fin de dar cuenta del riesgo nacional (i.e. para el sector público y privado) y el riesgo soberano (i.e. de responsabilidad fiscal) de los países del mundo.



## **ABSTRACT**

Seismic risk and in general the potential disasters that a city, a region or a country can suffer mean a non-explicit contingent liability that can affect, from a macroeconomic perspective, the fiscal sustainability of the State. In other words, disaster risk derives in a fiscal exposure that has to be measure according to the responsibility of the State, which is a risk taker, conscious or not, that must develop a strategy to face that risk, thus, to avoid adverse economic effects that affect its economic sustainability. This research illustrates why both, extreme disasters and recurrent small disasters mean a fiscal exposure and why they are contingent liabilities that must be considered in the national balance of the countries.

Fiscal vulnerability evaluation due to disasters depends on the potential economic losses that a country could have and the ability or economic resilience that it has, to face them and carry out a post-disaster recovery and reconstruction. It is explained the most appropriate way to develop an evaluation using probabilistic risk models that provides the potential maximum expected losses for a specific return period and describes how analytical models allow determining the ability to access economic resources to cover deficit that a disaster could generate. This document presents the kinds of actuarial techniques useful to measure fiscal exposure or fiscal vulnerability, evaluating, in a probabilistic way, structural damage and losses produced over the assets that are a fiscal responsibility of government. Probabilistic catastrophe risk modeling and inventory of economic impact of recurrent small events are fundamental supplies to propose feasible financial mechanisms and alternative structures of risk retention and risk transfer according to financial optimization analysis. This actuarial modeling allows proposing indices to prioritize, using cost/benefit rates, rehabilitation or structural reinforcement of assets. This thesis also presents a description of the financial instruments that can be explored to define an optimal strategy of financial protection.

The document also presents the application of probabilistic seismic risk modeling at urban level in three cities: The case of Manizales, Colombia illustrates the design of the voluntary collective earthquake insurance of private buildings, which currently covers low-income homeowners of the city through a cross-subsidy strategy; the seismic risk estimation and financial risk strategies for Bogota, Colombia; and the seismic risk evaluation of Barcelona, Spain. Finally, this thesis illustrates a risk analysis at country level through presenting seismic risk analysis of public buildings portfolio of Colombia. Also, it describes a risk analysis at regional level, in the Americas, and at global level, using indicators to represent national risk (of public and private sectors) and sovereign risk (fiscal responsibility) of the whole countries of the world.





# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPITULO 1</b>	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
1.1. MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.2. OBJETIVOS	23
1.3. UNA SÍNTESIS DEL ESTADO DEL ARTE	24
1.4. CONTENIDO DE LA TESIS	26
<b>CAPITULO 2</b>	<b>31</b>
<b>IMPACTO ECONÓMICO DE LOS DESASTRES</b>	<b>31</b>
2.1. DIFERENCIACIÓN ENTRE RIESGO INTENSIVO Y EXTENSIVO	32
2.2. IMPLICACIONES DE LOS DESASTRES Y RETOS PARA EL ESTADO	34
2.1.1. Responsabilidad y exposición fiscal	36
2.1.2. Recuperación con gestión del riesgo	37
2.3. NECESIDAD DE ANTICIPARSE MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL RIESGO	39
2.4. REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES SÍSMICOS	42
<b>CAPITULO 3</b>	<b>47</b>
<b>EVALUACIÓN DEL RIESGO SOBERANO</b>	<b>47</b>
3.1. LOS PASIVOS CONTINGENTES EN EL ANÁLISIS MACROECONÓMICO	50
3.2. SOSTENIBILIDAD Y VULNERABILIDAD FISCAL	51
3.3. LOS DESASTRES COMO PASIVOS CONTINGENTES	54
3.4. CURVAS DE EXCEDENCIA Y PERÍODOS DE RETORNO	57
3.5. EL RIESGO ACEPTABLE VS. LA SEGURIDAD PAGABLE	61
<b>CAPITULO 4</b>	<b>67</b>
<b>MECANISMOS DE PROTECCIÓN FINANCIERA</b>	<b>67</b>
4.1. GESTIÓN FINANCIERA DEL RIESGO DE DESASTRES	68
4.2. INSTRUMENTOS FINANCIEROS DE TRANSFERENCIA Y RETENCIÓN DEL RIESGO	70
4.2.1. El seguro y reaseguro frente a desastres	70
4.2.2. Alternativas del mercado de capitales	75
4.2.3. Los bonos de catástrofe	78
4.2.4. Otras opciones de titularización del riesgo	82
4.2.5. Retención del riesgo de desastres	84
4.2.6. Cautivas para la retención y transferencia	90

<b>CAPITULO 5</b>	<b>93</b>
<b>PROTECCIÓN FINANCIERA A NIVEL GUBERNAMENTAL</b>	<b>93</b>
5.1. MECANISMOS DE RETENCIÓN A NIVEL GUBERNAMENTAL	94
5.2. INSTRUMENTOS DE TRANSFERENCIA A NIVEL GUBERNAMENTAL	98
5.3. EXPERIENCIAS RECIENTES A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	99
5.3.1. Facilidad de seguro de riesgo catastrófico para el Caribe (CCRIF)	99
5.3.2. Bono CAT de México	101
5.3.3. Aseguramiento colectivo voluntario en Manizales	103
5.3.4. Pool Turco de Seguro de Catástrofe (TCIP)	104
5.3.5. Otros mecanismos de aseguramiento masivo	105
5.4. PAPEL DE LOS ORGANISMOS INTERNACIONALES Y PRIVADOS	106
<b>CAPITULO 6</b>	<b>109</b>
<b>MODELIZACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES</b>	<b>109</b>
6.1. MODELIZACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO	111
6.1.1. Procedimiento de cálculo	112
6.1.2. Incertidumbres asociadas	114
6.1.3. Métricas del riesgo	114
6.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO CATASTRÓFICO	119
6.2.1. Modelización del riesgo en caso de terremotos	123
6.2.2. Medidas del déficit potencial debido a riesgo intensivo	133
6.3. RIESGO POR EVENTOS MENORES Y RECURRENTES	138
6.3.3. Medidas del déficit potencial debido a riesgo intensivo	139
6.3.4. Curva de excedencia empírica utilizando desastres menores	141
<b>CAPITULO 7</b>	<b>147</b>
<b>ESTRATEGIA DE RETENCIÓN Y TRANSFERENCIA DEL RIESGO</b>	<b>147</b>
7.1. PARÁMETROS PARA LA ESTRUCTURA DE RETENCIÓN Y TRANSFERENCIA DEL RIESGO	148
7.1.1. Efectos del deducible	150
7.1.2. Efectos del límite máximo de cobertura	153
7.1.3. Efecto de limitar la pérdida y usar otros deducibles	154
7.1.4. Análisis por capas	158
7.2. EFECTO DE LA SELECCIÓN ADVERSA	161
7.3. COMBINACIÓN DE ALTERNATIVAS Y COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	163
<b>CAPITULO 8</b>	<b>169</b>
<b>MODELIZACIÓN DEL RIESGO A NIVEL URBANO</b>	<b>169</b>
8.1. MODELIZACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO DE MANIZALES	169

8.1.1. Estimación de la amenaza sísmica	170
8.1.2. Exposición	173
8.1.3. Vulnerabilidad de los edificios	174
8.1.4. Evaluación de daños y pérdidas	177
8.2. MODELIZACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO CATASTRÓFICO PARA BOGOTÁ	182
8.2.1. Estimación de la amenaza sísmica	184
8.2.2. Exposición	185
8.2.3. Vulnerabilidad de los edificios	186
8.2.4. Evaluación de daños y pérdidas	187
8.2.5. Estimación de primas considerando compensación o subsidio	192
8.3. MODELIZACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO DE BARCELONA	195
8.3.1. Estimación de la amenaza sísmica	195
8.3.2. Exposición	197
8.3.3. Vulnerabilidad de los edificios	198
8.3.4. Evaluación de daños y pérdidas	202
<b>CAPITULO 9</b>	<b>209</b>
<b>MODELIZACIÓN DEL RIESGO A NIVEL NACIONAL Y GLOBAL</b>	<b>209</b>
9.1. MODELIZACIÓN PROBABILISTA PARA EL PORTAFOLIO DE INMUEBLES PÚBLICOS DE COLOMBIA	210
9.2. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE DÉFICIT POR DESASTRE PARA LA REGIÓN LAC	217
9.3. ÍNDICES DE RIESGO A NIVEL MUNDIAL OBTENIDOS CON EL GLOBAL RISK MODEL	220
<b>CAPITULO 10</b>	<b>227</b>
<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>227</b>
10.1. CONCLUSIONES SOBRE ASPECTOS RELACIONADOS CON EL IMPACTO DE LOS DESASTRES EN LA SOSTENIBILIDAD DE LOS PAÍSES	228
10.2. CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL RIESGO SOBERANO	232
10.3. CONCLUSIONES RELACIONADAS CON LOS MECANISMOS DE PROTECCIÓN FINANCIERA	235
10.4. PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PARA LA PROTECCIÓN FINANCIERA FRENTE AL RIESGO DE DESASTRE	237
10.5. CONCLUSIONES SOBRE LA MODELIZACIÓN DEL RIESGO CATASTRÓFICO	241
10.6. CONCLUSIONES SOBRE LA ESTRATEGIA DE RETENCIÓN Y TRANSFERENCIA DEL RIESGO	246

---

10.6.5. Conclusiones de la modelización del riesgo a nivel nacional y global	247
10.6.6. Conclusiones de la modelización del riesgo a nivel urbano	247
10.7. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN	249
10.7.1. Levantamiento de información relevante	250
10.7.2. Análisis relación beneficio-costo probabilista	250
10.7.3. Curva híbrida y estratificación del riesgo	251
10.7.4. Incorporación del cambio climático a los modelos de evaluación del riesgo	251
<b>CAPITULO 11</b>	<b>253</b>
<b>ARTÍCULOS Y PROYECTOS RELACIONADOS CON LA TESIS</b>	<b>253</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>257</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>A.1</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>B-1</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>C.1</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>D.1</b>
<b>ANEXO E</b>	<b>E.1</b>
<b>ANEXO F</b>	<b>F.1</b>
<b>ANEXO G</b>	<b>G.1</b>
<b>ANEXO H</b>	<b>H-1</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1. Comparativo de daños y pérdidas de los eventos menores con desastres extremos</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 2.2. Pérdidas de eventos extremos, millones de dólares (corrientes) y en %PIB</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 2.3. Objetivos de comportamiento sísmico de las normas de edificios (IBC 2000)</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 3.1. Ejemplos de regulaciones y publicaciones relacionados con los pasivos contingentes en diferentes países Fuente: Ministerio de Hacienda y Crédito Público, MHCP, 2011</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 4.1. Financiación ex ante y ex post de los costos de atención de emergencias y reconstrucción</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 4.2. Beneficios para vendedores y compradores de riesgo por catástrofe</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 4.3. Índices de Catástrofe</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 6.1. Información mínima requerida para el análisis</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 6.2. Distribución de la población de acuerdo con el uso del edificio</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 7.1. Ejemplo de variación de la prima por capas para un portafolio de edificaciones</b>	<b>159</b>
<b>Tabla 8.1. Características principales de los portafolios de análisis.</b>	<b>174</b>
<b>Tabla 8.2. Tipos estructurales de Manizales considerados en el sistema RN-Col</b>	<b>175</b>
<b>Tabla 8.3 Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles privados con 0% deducible</b>	<b>178</b>
<b>Tabla 8.4 Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles privados con 1.5% deducible</b>	<b>178</b>
<b>Tabla 8.5 Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles privados con 3% deducible</b>	<b>179</b>
<b>Tabla 8.6. Efectos del deducible en el valor de la prima y el PML para el portafolio total</b>	<b>180</b>
<b>Tabla 8.7. Información suministrada - Base de datos catastral</b>	<b>186</b>
<b>Tabla 8.8. Resumen de características principales de la base de datos de las edificaciones privadas de Bogotá</b>	<b>187</b>
<b>Tabla 8.9. Primas y PML para las edificaciones residenciales de Bogotá</b>	<b>188</b>

---

<b>Tabla 8.10. Efectos del deducible en el valor de la prima y el PML para edificaciones residenciales</b>	<b>188</b>
<b>Tabla 8.11. Primas y PML para edificaciones exentas</b>	<b>190</b>
<b>Tabla 8.12. Primas y PML para edificaciones de estratos 1 y 2</b>	<b>190</b>
<b>Tabla 8.13. Primas y PML para edificaciones no exentas</b>	<b>191</b>
<b>Tabla 8.14. Primas y PML para edificaciones de estratos 3, 4, 5 y 6</b>	<b>191</b>
<b>Tabla 8.15. Variación del valor subsidiado y primas de los aportantes respecto del valor asegurable subsidiado</b>	<b>193</b>
<b>Tabla 8.16. Escenarios de participación diferencial por estratos y tipos de beneficiario</b>	<b>193</b>
<b>Tabla 8.17. Primas según estratos y valor porcentual frente al predial para subsidiar los inmuebles con valor menor o igual 15 MDP con participación diferencial</b>	<b>193</b>
<b>Tabla 8.18. Primas según estratos y valor porcentual frente al predial para subsidiar los inmuebles con valor menor o igual 20 MDP con participación diferencial</b>	<b>194</b>
<b>Tabla 8.19. Resultados obtenidos para la exposición física</b>	<b>202</b>
<b>Tabla 8.20. Resultados obtenidos para personas muertas</b>	<b>203</b>
<b>Tabla 8.21. Resultados obtenidos para personas heridas</b>	<b>203</b>
<b>Tabla 8.22. Información del escenario crítico para Barcelona</b>	<b>206</b>
<b>Tabla 9.1. Registros para la base de datos de inmuebles públicos</b>	<b>211</b>
<b>Tabla 9.2. Resumen de características principales de la base de datos de los inmuebles públicos</b>	<b>211</b>
<b>Tabla 9.3. Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles nacionales</b>	<b>212</b>
<b>Tabla 9.4. Zonas CRESTA en Colombia</b>	<b>214</b>
<b>Tabla 9.5. Resultados de análisis por zonas CRESTA</b>	<b>214</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1. Intensidad del desastre de acuerdo a la intensidad de la amenaza y la vulnerabilidad</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2.2. Efecto de una sucesión de desastres sobre la formación bruta de capital</b>	<b>35</b>
<b>Figura 2.3. Estratificación del riesgo de desastre</b>	<b>38</b>
<b>Figura 2.4. Beneficio o ahorro en pérdidas</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.1. Riesgo fiscal basado en Polackova 1999</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3.2. Justificación de la valoración de las obligaciones contingentes</b>	<b>52</b>
<b>Figura 3.3. Cumplimiento de la restricción inter-temporal del gobierno que asegura la solvencia y la sostenibilidad</b>	<b>53</b>
<b>Figura 3.4. Curva de probabilidad de excedencia de pérdidas</b>	<b>56</b>
<b>Figura 3.5. Periodo de retorno</b>	<b>58</b>
<b>Figura 3.6. Pérdidas históricas hipotéticas en una ciudad. Las pérdidas son expresadas como fracción del valor total expuesto</b>	<b>59</b>
<b>Figura 3.7. Curva de excedencia de pérdidas para evaluar el riesgo de desastre</b>	<b>60</b>
<b>Figura 4.1. Fuentes de financiación post-desastre.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 4.2. Nivel de precios de reaseguros CatXL en comparación con la siniestralidad anual causada por catástrofes naturales de 1990 a 2002</b>	<b>75</b>
<b>Figura 4.3. Bono de catástrofe</b>	<b>79</b>
<b>Figura 4.4. Concepto de precio de aseguramiento y pool de riesgo</b>	<b>87</b>
<b>Figura 4.5. Proceso de activación del CAT DDO</b>	<b>89</b>
<b>Figura 5.1. Papel de los instrumentos del FONDEN en el Sistema Nacional de Protección Civil de México. Fuente: Secretaría de Gobierno de México 2004</b>	<b>96</b>
<b>Figura 5.2. Recursos y gastos del FONDEN, 1999-2011 (en dólares constantes 2011).</b>	<b>96</b>
<b>Figura 5.3. Costos de aseguramiento individual y agregado (CCRIF).</b>	<b>100</b>
<b>Figura 5.4. La prima se reduce en la media que participan más países</b>	<b>101</b>
<b>Figura 5.5. Zonas que disparan el seguro y el Cat-Mex.</b>	<b>102</b>
<b>Figura 5.6. Estructura operativa MultiCat México.</b>	<b>103</b>



<b>Figura 5.7. Propaganda del seguro por parte del municipio y la compañía de seguros</b>	<b>104</b>
<b>Figura 5.8. Estructura organizacional del TCIP</b>	<b>105</b>
<b>Figura 6.1. Pérdidas por eventos pequeños y grandes en un lapso de 30 años en México</b>	<b>115</b>
<b>Figura 6.2. Pasos para la evaluación del riesgo catastrófico</b>	<b>121</b>
<b>Figura 6.3. Diagrama de flujo ilustrativo del proceso del cálculo de riesgo del CAPRRA</b>	<b>121</b>
<b>Figura 6.4. Función de distribución de probabilidad FDP de la pérdida utilizada en el CAPRA</b>	<b>122</b>
<b>Figura 6.5. (a) Curva de excedencia de intensidades para cada sitio calculado. (b) Mapas de amenaza para diferentes periodos de retorno</b>	<b>126</b>
<b>Figura 6.6. Espectro de amenaza uniforme para un sitio específico en roca (Lima)</b>	<b>126</b>
<b>Figura 6.7. Mapas de microzonificación sísmica para un periodo de retorno de 475 años en dos ciudades de Colombia</b>	<b>127</b>
<b>Figura 6.8. Curva de vulnerabilidad con su valor medio de daño y su varianza</b>	<b>131</b>
<b>Figura 6.9. Descripción esquemática del cálculo del <math>IDD_{EMC}</math></b>	<b>135</b>
<b>Figura 6.10. Curva de excedencia empírica de Colombia obtenida para un período de 40 años</b>	<b>144</b>
<b>Figura 6.11. Ejemplo de curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia.</b>	<b>145</b>
<b>Figura 7.1. Estructura de retención y transferencia</b>	<b>150</b>
<b>Figura 7.2. Ejemplo de la variación del factor <math>Z_p</math> con el deducible</b>	<b>151</b>
<b>Figura 7.3. Ejemplo del efecto del deducible en la PPR y en las reservas requeridas</b>	<b>152</b>
<b>Figura 7.4. Ejemplo de variación de la PML con el deducible</b>	<b>153</b>
<b>Figura 7.5. Ejemplo de variación de la PPR con el límite máximo de la póliza</b>	<b>154</b>
<b>Figura 7.6. Ejemplo del cálculo de prima para una capa en un contrato de exceso de pérdida</b>	<b>156</b>
<b>Figura 7.7. Ejemplo de variación de la PPR para diferentes límites de cobertura y deducibles</b>	<b>158</b>
<b>Figura 7.8. Ejemplo de la variación de la prima por capas- <math>Z_R</math></b>	<b>160</b>
<b>Figura 7.9. Ejemplo de variación de la prima por capas o gráfica de ROL</b>	<b>160</b>
<b>Figura 7.10. Ejemplo de cálculo de prima de riesgo por capas</b>	<b>161</b>
<b>Figura 7.11. Efecto de selección adversa del riesgo en los valores de prima pura</b>	<b>162</b>
<b>Figura 7.12. Efecto de selección adversa del riesgo en los valores de PML</b>	<b>162</b>

<b>Figura 7.13. Ejemplo de estructura de retención y transferencia</b>	<b>164</b>
<b>Figura 7.14. Costo financiero de los instrumentos de retención y transferencia</b>	<b>165</b>
<b>Figura 8.1. Tasas de excedencia en roca para Manizales</b>	<b>171</b>
<b>Figura 8.2. Imagen del software interactivo de microzonificación sísmica de la ciudad de Manizales</b>	<b>172</b>
<b>Figura 8.3. Valor expuesto de las edificaciones privadas de la ciudad de Manizales, Colombia</b>	<b>174</b>
<b>Figura 8.4. Curvas de vulnerabilidad basadas en la aceleración máxima</b>	<b>176</b>
<b>Figura 8.5. Curvas de vulnerabilidad basadas en la deriva</b>	<b>176</b>
<b>Figura 8.6. Estructura de retención y transferencia con 3% deducible</b>	<b>181</b>
<b>Figura 8.7. Prima pura promedio de la cartera de predios No Exentos para diferentes porcentajes de predios asegurados con respecto al total de la cartera</b>	<b>181</b>
<b>Figura 8.8. Distribución porcentual de hogares dispuestos a participar en el programa de aseguramiento colectivo (hogares sin hipoteca vigente y sin seguro)</b>	<b>183</b>
<b>Figura 8.9. Tasas de excedencia en roca para Bogotá, Colombia</b>	<b>184</b>
<b>Figura 8.10. Zonificación sísmica por efectos locales y puntos de control</b>	<b>185</b>
<b>Figura 8.11. Curva de concentración del portafolio</b>	<b>189</b>
<b>Figura 8.12. Tasas de excedencia para Barcelona</b>	<b>196</b>
<b>Figura 8.13. Zonificación sísmica basada en los efectos locales</b>	<b>196</b>
<b>Figura 8.14. Valor expuesto de las AEBs de Barcelona</b>	<b>198</b>
<b>Figura 8.15. Funciones de vulnerabilidad para edificaciones de mampostería de altura: (a) baja, (b) media y (c) alta</b>	<b>200</b>
<b>Figura 8.16. Funciones de vulnerabilidad para edificios de concreto reforzado, acero y madera. de altura: (a) baja, (b) media y (c) alta</b>	<b>201</b>
<b>Figura 8.17. Curva de PML para Barcelona</b>	<b>204</b>
<b>Figura 8.18. Pérdida Anual Esperada por AEB para Barcelona</b>	<b>204</b>
<b>Figura 8.19. Pérdida anual esperada para cada edificación en el Distrito del Eixample en Barcelona</b>	<b>205</b>
<b>Figura 8.20. Pérdida Anual Esperada para (a) heridos y (b) muertos por AEB en Barcelona</b>	<b>206</b>
<b>Figura 8.21. (a) Personas sin vivienda y (b) personas sin trabajo por AEB en Barcelona</b>	<b>207</b>
<b>Figura 9.1. Curva de concentración del portafolio</b>	<b>213</b>
<b>Figura 9.2. Estructura de retención y transferencia de riesgos</b>	<b>215</b>
<b>Figura 9.3. IDD y pérdida máxima probable en 500 años de países de las Américas en 2008 y 2010*</b>	<b>218</b>

<b>Figura 9.4. IDD' por gastos de capital y prima pura de riesgo para diferentes países de las Américas a 2008 y 2010**</b>	<b>219</b>
<b>Figura 9.5. Distribución de la PAE Nacional respecto del valor expuesto, para sismo por país</b>	<b>221</b>
<b>Figura 9.6. Ranking a nivel mundial de la PAE Nacional y Fiscal con respecto al Gasto Nacional Bruto para sismo y por país</b>	<b>222</b>
<b>Figura 9.7. Ranking a nivel de las economías de nivel medio-alto y medio-bajo de la PAE Fiscal con respecto al Gasto Nacional Bruto para sismo y por país</b>	<b>223</b>
<b>Figura 9.8. Distribución de la PML<sub>250</sub> Nacional con respecto al valor expuesto para sismo por país</b>	<b>223</b>
<b>Figura 9.9. Ranking de los países a nivel mundial con base en la PML<sub>250</sub> Nacional y Fiscal en porcentaje del PIB</b>	<b>224</b>
<b>Figura 9.10. Ranking de los países a nivel regional con base en la PML<sub>250</sub> Nacional en % del PIB</b>	<b>225</b>
<b>Figura 10.1. Propósitos de la modelización del riesgo</b>	<b>243</b>
<b>Figura 10.2. Tipo de información para la modelización</b>	<b>243</b>
<b>Figura 10.3. Definición de metodología</b>	<b>244</b>
<b>Figura 10.4. Utilización de los resultados</b>	<b>244</b>
<b>Figura 10.5. Resultado de manejar herramientas como CAPRA</b>	<b>245</b>

# Capítulo 1.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación de la investigación

Los impactos socioeconómicos sufridos durante las últimas décadas a raíz de desastres por fenómenos naturales son un indicativo de la alta vulnerabilidad que presentan los asentamientos humanos localizados en zonas propensas, así como de los niveles de protección financiera y social que se deben implementar para solventar el costo de las pérdidas económicas asociadas, no sólo referidas a las pérdidas directas, sino también a la disminución en la productividad de los sectores agrícola e industrial, la recesión en el ingreso tributario y la necesaria disposición de recursos para la atención de la emergencia.

La vulnerabilidad ante fenómenos naturales se ha incrementado en las últimas décadas a nivel mundial; principalmente en los países en desarrollo. La tendencia a este aumento se debe principalmente a cambios socio-económicos, como el crecimiento poblacional, el aumento en la densidad de la población, la pobreza, la expansión de las ciudades y el aumento de la concentración de los activos en áreas geográficas expuestas a amenazas. Adicionalmente, el alto nivel de migración de la población por diversos problemas sociales, desigualdad, desempleo, violencia, inseguridad de diferentes tipos y otros factores obligan a la ocupación de terrenos cada vez menos adecuados para ser habitados, lo cual aumenta la exposición en condiciones no deseables generando un aumento considerable en los niveles de vulnerabilidad y riesgo.

Los desarrollos modernos de la gestión del riesgo de desastres han precisado el papel del Estado en diferentes aspectos que originalmente sólo se referían a la acción remedial o de respuesta en caso de crisis; es decir, en preparativos para emergencias y acciones *ex post* en caso de desastre. En forma paulatina se ha ido comprendiendo que el "desastre" y el "riesgo" son problemas sociales, económicos y ambientales ligados a procesos de acumulación de vulnerabilidad, que a su vez son producto de modelos no sostenibles ni óptimos de crecimiento. Es decir, que los desastres son problemas de desarrollo o riesgos no manejados y que, en consecuencia, la reducción de la vulnerabilidad y por lo tanto del riesgo debe ser un objetivo explícito de planificación *ex ante* frente a los desastres. En conclusión, ineludiblemente la gestión del riesgo es transversal al desarrollo y diversos interesados, actores sociales y entidades y sectores de la gestión pública están necesariamente involucrados en el proceso.

La visión moderna de la gestión del riesgo involucra cuatro políticas públicas distintas, las tres primeras son acciones *ex ante* y la última corresponde a las acciones *ex post*:

- a) la identificación del riesgo (que involucra el conocimiento, la evaluación, la comunicación, la percepción individual y colectiva del riesgo);
- b) la reducción del riesgo (que involucra propiamente la prevención-mitigación de la vulnerabilidad física y social);
- c) la protección financiera (que tiene que ver con la transferencia y retención del riesgo desde el punto de vista financiero y de inversión pública); y
- d) el manejo de desastres (que corresponde a la preparación, alerta, respuesta, rehabilitación y reconstrucción una vez que el desastre se presenta).

De lo anterior y de la experiencia se puede afirmar que si bien es cierto que algunas de estas políticas públicas apenas son incipientes, la protección o gestión financiera del riesgo prácticamente ha sido inexistente; especialmente en los países en desarrollo. Por lo tanto, una apropiada evaluación de las pérdidas probables y de los costos de la reconstrucción a causa de fenómenos naturales puede llegar a ser un potente incentivo para explorar opciones e instrumentos de planificación que permitan enfrentar el riesgo. De una buena modelización y un lenguaje apropiado depende que se asignen recursos presupuestales sostenibles para reducir los daños potenciales y para garantizar el adecuado desarrollo económico y social.

El planeamiento y aplicación de medidas económicas y financieras orientadas a impedir o reducir los desequilibrios o efectos adversos debidos a situaciones que pueden afectar la estabilidad económica, la productividad y los activos es conocido, en el ámbito comercial, los bancos y los Ministerios de Hacienda o Economía y Finanzas, como *Risk Management*. Este proceso involucra cinco pasos: i) identificar y analizar los peligros y la vulnerabilidad económica o fiscal (también conocido como análisis de riesgo); ii) examinar la factibilidad de alternativas o técnicas para reducir ese riesgo de insolvencia; iii) seleccionar la mejor estrategia factible para impedir o mitigar el posible shock; iv) implementar la estrategia escogida; y v) darle seguimiento a su implementación. Estos pasos son muy similares a lo que se conocen en general como gestión del riesgo de desastres pero desde una perspectiva financiera y económica; identificando y analizando las exposiciones de pérdida, examinando las posibilidades de transferencia y retención del riesgo financiero, llevando a cabo las transacciones que esto implica y estando atentos a los cambios o ajustes que deben realizarse en medio del proceso.

Dependiendo de la cultura, los valores y los enfoques políticos de una sociedad así como del impacto de sucesos o desastres ocurridos en un país o región, el riesgo usualmente se interpreta desde diferentes perspectivas. Por lo tanto, la gestión del riesgo se basa en estas perspectivas. En general, la gestión del riesgo se traduce en una serie de compromisos de intervención frente al riesgo inminente versus el riesgo más peligroso o frente el riesgo crónico versus el riesgo extremo o excepcional. Sin embargo, a menudo, la perspectiva a corto plazo es la que prevalece a nivel político y los riesgos intervenidos son preferiblemente aquellos a corto plazo, donde la acción remedial se puede identificar rápida e inequívocamente; es decir, donde los resultados

son más visibles y donde los éxitos pueden ser claramente atribuibles a una autoridad política vigente.

Ahora bien, el riesgo sísmico y en general los desastres potenciales que puede sufrir una ciudad, una región o un país significan una obligación o pasivo contingente no explícito que puede afectar, desde el punto de vista macroeconómico, la sostenibilidad fiscal de las unidades territoriales indicadas. En otras palabras, del riesgo de insolvencia por desastre se deriva una exposición o vulnerabilidad fiscal que debe ser dimensionada de acuerdo con la responsabilidad del Estado, el cual frente a los futuros desastres es un tomador de riesgo, consciente o no, que debe formular una estrategia para afrontar dicho riesgo soberano y, así, evitar sucesos adversos que afecten su sostenibilidad económica. Tanto los desastres extremos o catastróficos como los desastres menores recurrentes significan una exposición fiscal y son pasivos contingentes que deben tenerse en cuenta en el balance contable de una nación.

La evaluación de la vulnerabilidad fiscal frente a desastres depende del potencial de pérdidas económicas que puede llegar a tener un país y de la capacidad o resiliencia económica que tiene para afrontarlas y llevar a cabo la reposición o reconstrucción post-desastre. La forma más apropiada para llevar a cabo dicha evaluación es utilizando modelos probabilistas de riesgo que den cuenta del potencial de pérdidas máximas esperadas durante un tiempo de exposición y de modelos analíticos que permitan determinar la capacidad o el acceso a recursos económicos que permitan cubrir el déficit que puede generar un desastre. La utilización de técnicas actuariales permite dimensionar la exposición o vulnerabilidad fiscal y evaluar en forma probabilista el daño físico estructural y las pérdidas que se derivan sobre los activos o bienes inmuebles de responsabilidad de los Estados soberanos.

La modelización probabilista del riesgo catastrófico y los efectos sociales y económicos acumulados de los eventos menores recurrentes son insumos fundamentales para proyectar mecanismos financieros factibles y estructuras alternativas de retención y transferencia del riesgo de acuerdo con análisis de optimización financiera. Dicha modelización probabilista del riesgo permite proponer índices para asignar la prioridad de rehabilitación o refuerzo estructural de inmuebles utilizando la relación de beneficio-costos de este tipo de intervenciones.

Desde el punto de vista de la protección financiera, como ya se mencionó, ha existido la tradición de utilizar modelos actuariales, cuyo objetivo ha sido valorar las pérdidas máximas esperadas y, en general, aplicar lo que en finanzas se le ha denominado el *Risk Management*. Las métricas principales utilizadas por estos métodos han sido la pérdida máxima probable (PML en inglés) y la prima pura de riesgo, con el fin de determinar las reservas económicas requeridas para atender eventos catastróficos extremos y el valor de las pólizas que el tomador de riesgo establece a los cedentes del mismo. Las técnicas de evaluación del riesgo han sido de especial interés para la contratación de seguros y reaseguros y más recientemente se han convertido en una necesidad para los inversionistas del mercado de capitales. No obstante, sólo algunos modelos de propiedad y uso exclusivo de algunas firmas modeladoras, establecidas en su mayoría en los años 90, se han utilizado para atender estas necesidades. Dichos modelos son considerados como cajas negras debido a que sus fundamentos técnicos y teóricos sólo se conocen parcialmente por considerarse *know how* de las firmas que los han desarrollado. Esto ha motivado que se estén promoviendo sistemas o iniciativas sin costo y de libre acceso, *open source*, con el fin de

facilitar el acceso a los gobiernos a este tipo de herramientas. Una de estas iniciativas, que originalmente se hizo para Centro América, pero que posteriormente se amplió su utilización, ha sido la plataforma CAPRA (*Central America Probabilistic Risk Assessment*), desarrollada con apoyo del Banco Mundial, el BID y la UN-ISDR. Igualmente se encuentra en marcha la iniciativa GEM (*Global Earthquake Model*), orientada a la modelización del riesgo sísmico.

Desde el punto de vista del diseño de instrumentos o mecanismos para la protección financiera sólo muy recientemente, desde finales de los años 90, en que se emitió el primer bono CAT y se crearon las primeras reaseguradoras cautivas *off-shore*, se han propuesto nuevas alternativas de retención y transferencia de riesgo, del interés de la industria de seguros y del mercado de capitales. Sin embargo, el posible uso de estos instrumentos financieros no ha sido una práctica común del sector gubernamental para efectos de proteger sus bienes fiscales y atender su responsabilidad fiscal. Los instrumentos financieros más notables que se podrían replicar son, por ejemplo, el consorcio de seguros creado en Turquía para cubrir pérdidas por terremoto de las edificaciones de propiedad de los ciudadanos; la facilidad de aseguramiento para atender emergencias en el Caribe; la política de fondos de reservas de México, el bono CAT que emitió dicho gobierno en 2006 para atender emergencias; la contratación de créditos contingentes con los organismos multilaterales como los CAT-DDO del Banco Mundial y la redestinación de créditos y las facilidades que ofrece el BID; el aseguramiento colectivo voluntario y la protección de los más pobres con subsidios cruzados; y el aseguramiento de los inmuebles públicos mediante una póliza única multirisgo. Estos posiblemente los más importantes entre otros mecanismos o instrumentos reconocidos.

Existen por lo tanto diversos instrumentos financieros que se podrían explorar para definir una estrategia óptima de protección financiera y formular un método para evaluar la relación de beneficio-coste económico y social de las medidas de reducción del riesgo, con el fin de priorizar los activos que deben ser intervenidos y establecer un enfoque integral de gestión financiera del riesgo. Ahora bien, es importante señalar que a pesar de la clara importancia que tiene que los gobiernos cuenten con una política de protección financiera para la retención y transferencia del riesgo, utilizando los diversos mecanismos o instrumentos disponibles, este tipo de política pública apenas ha sido reconocida en los últimos años y sólo ha sido promovida muy recientemente y en particular por las Instituciones Financieras Internacionales. Cada vez hay mayores aportes, instrumentos, proyectos y publicaciones sobre el tema, promovidos principalmente por el Banco Mundial y el BID. También han contribuido la CEPAL, la CAF, la OEA, otros bancos de desarrollo subregionales y organismos como el PREDECAN, CAPRADE, CEPREDENAC, la OFDA/USAID, entre otros. Sorprendentemente el sector de los seguros y reaseguros poco ha realizado en dar insumos a los gobiernos para comprender y definir estrategias financieras frente al riesgo soberano por desastres. Los esfuerzos en este sentido, en general, han contribuido a que el tema se empiece a tratar en talleres, conferencias y seminarios sobre gestión integral del riesgo y que los Ministerios de Hacienda y Finanzas y las entidades de planeación y otros ministerios interesados (agricultura, por ejemplo) establezcan actividades relacionadas con el tema y contraten estudios que orienten posibles alternativas para mejorar la eficiencia del manejo de fondos de reservas, la suscripción y subsidio de

seguros/reaseguros e incluso que se exploren instrumentos como los bonos de catástrofe y las cautivas.

En resumen, si bien es cierto que las políticas de la gestión integral del riesgo son en general incipientes, la protección o gestión financiera del riesgo apenas se menciona, por lo que se podría decir que es prácticamente nueva. Esta acción no ha sido realmente una política pública explícita y si ha existido no ha sido todavía articulada con las demás políticas públicas que integran la gestión integral del riesgo. De existir algunas disposiciones al respecto, puede también afirmarse que no ha sido de interés si hay eficiencia en las mismas. Por esta razón, es necesario profundizar en estudios sobre evaluación de riesgos con modelos idóneos y apropiados, dada la información técnica disponible, y formular estrategias eficientes de protección financiera con diferentes instrumentos factibles para hacer frente a las posibles pérdidas del Estado y de la sociedad en general como resultado de la ocurrencia de fenómenos naturales a diferentes escalas.

Impulsar el entendimiento del riesgo financiero que se deriva de los desastres y la implementación de una estrategia de protección financiera puede hacer la diferencia en la difícil empresa de avanzar en la gestión integral del riesgo de desastres. Su principal implicación es que los tomadores de decisiones a nivel económico de cada país –lo que recae en los Ministerios de Hacienda, Finanzas o Economía–, que tienen un enorme poder técnico y político en los países, tomen consciencia y le den la debida importancia a la gestión del riesgo de desastres, comprendiendo el notable incentivo que significa invertir en la reducción del riesgo. La falta de esta claridad y de que sean otros los actores los que han promovido el tema, con menor influencia en la decisión de la inversión pública, se podría superar, convirtiéndose la gestión financiera del riesgo en una política pública clave para que la gestión integral del riesgo y la ahora muy mencionada adaptación al cambio climático.

## 1.2. Objetivos

El propósito general de la tesis es llevar a cabo un desarrollo conceptual y metodológico para la evaluación de las pérdidas económicas potenciales causadas por terremoto en edificios, utilizando un enfoque probabilista, con el fin de dimensionar la exposición fiscal frente a desastres y facilitar la formulación de estructuras de retención y transferencia que garanticen la sostenibilidad fiscal desde el punto de vista macroeconómico.

La evaluación probabilista del riesgo permite que los tomadores de decisiones tanto del sector público como del sector privado determinen prioridades de la gestión del riesgo en forma anticipada y establezcan estrategias financieras para hacer frente a las pérdidas potenciales que podrían generarse en el caso de que se presente un suceso catastrófico. La identificación temprana y la priorización de los riesgos permiten a una ciudad o a un país aumentar su resiliencia a través de la prevención, reducción y adaptación, así como utilizar medidas de financiación *ex ante* de pérdidas económicas mediante mecanismos de retención y transferencia del riesgo.

En regiones donde el mercado de capitales aún no existe –como es el caso frecuente en mercados en desarrollo y emergentes– el gobierno puede jugar un papel importante para facilitar el desarrollo de herramientas de retención y transferencia del



riesgo. Igualmente, puede apoyar la investigación y la modelización del riesgo para permitir nuevas soluciones de financiación que hasta ahora no han hecho parte de las políticas de gestión integral del riesgo de desastres.

Los objetivos específicos de la tesis son:

- a) Sustentar que los desastres que se derivan de la responsabilidad fiscal son pasivos contingentes que contribuyen a la vulnerabilidad fiscal de los países.
- b) Proponer la manera como se puede estimar la exposición fiscal o riesgo soberano por desastres en el análisis macroeconómico de la sostenibilidad fiscal.
- c) Analizar diferentes mecanismos factibles de protección financiera *ex ante* y explorar posibles alternativas de mitigación, retención y transferencia del riesgo que permitan reducir y cubrir pérdidas del sector público y privado.
- d) Aplicar este tipo de evaluaciones y análisis a diferentes portafolios de edificios públicos y privados de Colombia y de la ciudad de Barcelona, España.

### 1.3. Una síntesis del estado del arte

Desde que Robert Whitman realizó a principios de los años 70 las evaluaciones de pérdidas para la ciudad de Boston, que después se aplicarían en California y se publicarían en el informe ATC-13 (ATC 1985), se han realizado múltiples estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico con diferentes tipos de metodologías. Una de las primeras publicaciones con diferentes enfoques metodológicos de evaluación de vulnerabilidad sísmica urbana en Europa, que se basaron en los primeros trabajos de Whitman (1973); Whitman *et al.* (1973) y el marco conceptual propuesto en la Reunión de Expertos de 1979, promovida por UNDRO y UNESCO (1980), fueron las memorias de la *International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas* que se realizó en Skopje en 1985. Diversas metodologías se presentaron por diferentes autores y en particular Corsanego (1985) presentó una revisión de diferentes enfoques. En 1989 FEMA publicó el informe del panel que lideró George Housner, bajo el título *Estimating Losses From Future Earthquakes* y posteriormente una de las publicaciones que presentó una compilación de las principales técnicas realizadas hasta finales de los años 90, fue el informe especial sobre *Loss Estimation del Earthquake Spectra* del EERI (1997). A finales de los años 90 y como resultado de la depuración de las metodologías de evaluación del impacto futuro o de los escenarios de efectos potenciales que podrían ocurrir en ciudades, realizadas en diversas partes del mundo, se plantearon las metodologías propuestas en los proyectos HAZUS (FEMA 1999) y RISK-UE (Mouroux *et al.* 2004). En estos proyectos se hizo especial énfasis en obtener escenarios de riesgo sísmico físico utilizando curvas de fragilidad basadas en los fundamentos conceptuales del método de capacidad estructural que se generalizó con fines de evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural de edificios existentes y para realizar el análisis y cálculo estructural de nuevos edificios.

La modelización del riesgo sísmico urbano desde una perspectiva holística o integral, teniendo en cuenta variables socio-económicas y de resiliencia, en forma adicional a las variables sísmicas y estructurales, fue abordada posteriormente por Cardona (2001) y por Carreño (2006), debido al especial interés de explorar técnicas transdisciplinarias que facilitaran la toma de decisiones de manera efectiva y eficiente

con fines de reducción del riesgo. Estas evaluaciones del posible impacto de terremotos en áreas urbanas, utilizando indicadores, se han aplicado partiendo de la evaluación de las pérdidas probables o escenarios potenciales de daños por sismo; es decir de los resultados obtenidos mediante las metodologías de evaluación del riesgo sísmico físico.

Desde el punto de vista de la protección financiera ha existido la tradición de utilizar modelos actuariales, cuyo objetivo ha sido valorar las pérdidas máximas esperadas (ASTM 1999) y, en general, aplicar lo que en finanzas se le ha denominado el *Risk Management*. Las métricas principales utilizadas por estos métodos han sido la pérdida máxima probable (*Probable Maximum Loss*, PML) y la prima pura de riesgo, con el fin de determinar las reservas económicas requeridas para atender eventos catastróficos extremos y el valor de las pólizas que el tomador de riesgo establece a los cedentes del mismo. El ATC-13-1 (ATC 2002) ilustra cómo se puede estimar la pérdida máxima probable de un edificio, como un análisis complementario a su cálculo estructural; aspecto que significa un primer intento para pasar del diseño basado en comportamiento a lo que podría denominarse el diseño basado en el riesgo. Este tipo de técnicas de transferencia de riesgo ha sido de especial interés para la contratación de seguros y reaseguros y más recientemente por inversionistas del mercado de capitales (Doherty 2000; Grossi *et al.* 2005). Sin embargo, pocos modelos han sido reconocidos como idóneos en el ámbito internacional, siendo los mismos de propiedad y uso exclusivo de firmas como RMS, EQECAT, AIR Worldwide y ERN. Estos modelos considerados “cajas negras” por desconocerse sus fundamentos teóricos en detalle, han sido cuestionados (Bommer *et al.* 2006) y se han realizado algunos modelos *open source* como MIRISK y OpenRisk (Porter *et al.* 2007) para contrarrestar sus privilegios comerciales y darle acceso a gobiernos y a la academia a este tipo de modelización. Actualmente se ha creado la plataforma CAPRA (*Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment*), desarrollada por el consorcio ERN-AL, con apoyo del Banco Mundial, el BID y la UN-ISDR (Cardona *et al.* 2010b, 2012b). Este modelo describe en detalle el fundamento analítico de la evaluación de amenazas y se acoge a criterios *open source* en lo que corresponde tanto a los módulos de evaluación de amenazas como en lo concerniente al módulo de evaluación del riesgo. Igualmente, se está desarrollando el proyecto GEM (*Global Earthquake Model*), cuyo objetivo es proveer una plataforma de evaluación del riesgo sísmico a nivel mundial. Este modelo intenta recoger el estado del arte en las diferentes fases del cálculo del riesgo sísmico e integrar esfuerzos previos como el HAZUS, que ha sido promovido por FEMA en los Estados Unidos, y el RISK-EU, desarrollado en el marco investigaciones financiadas por el FP7 de la Comisión Europea. Finalmente, la Comisión Europea y la OEDC han estado explorando la posibilidad de impulsar una plataforma de evaluación del riesgo derivado de múltiples amenazas, para tratar de estimar la propagación de efectos en cascada o simultáneos por amenazas concatenadas o simultáneas.

Desde el punto de vista del diseño de instrumentos o mecanismos para la protección financiera sólo muy recientemente, desde finales de los años 90, en que se emitió el primer bono CAT (SwissRe 1996; Kunreuther *et al.* 1998; EERI 2000) y las primeras reaseguradoras cautivas *off-shore*, se han propuesto nuevas alternativas de retención y transferencia de riesgo (Cardona 2002; Banks 2004; Marulanda *et al.* 2008a), del interés de la industria de seguros y el mercado de capitales. Sin embargo, el posible uso de estos instrumentos financieros no ha sido objeto del sector gubernamental para efectos de proteger sus bienes fiscales y atender su

responsabilidad fiscal, con excepción del consorcio de seguros creado en Turquía para cubrir pérdidas por terremoto de las edificaciones de propiedad de los ciudadanos (Gurenko *et al.* 2006) y la política de fondos de reservas de México (Freeman *et al.* 2001) y el bono CAT que emitió dicho gobierno en 2006 para atender emergencias (Cardenas *et al.* 2007).

Desde el punto de vista de dimensionar la obligación contingente que puede significar un desastre extremo, uno de los trabajos más representativos ha sido el desarrollo del Índice de Déficit por Desastre, formulado en el marco del Programa de Indicadores de Riesgo y Gestión de Riesgos para las Américas (Cardona 2005; IDEA 2005). Consideraciones acerca de la responsabilidad fiscal y de la necesidad de contar con una estrategia para cubrir el riesgo residual de los Estados sólo han sido tratadas de manera parcial o incipiente en la literatura especializada por pocos autores como Pollner (2001), Cardona (2002), Freeman *et al.* (2002a,b, 2004), Mechler (2004), Linnerooth-Bayer *et al.* (2005), Ghesquiere *et al.* (2007), Marulanda *et al.* (2008). De la misma manera se puede señalar que modelos para la estimación de la relación beneficio-costos de la mitigación utilizando enfoques actuariales se han desarrollado pocos; algunos trabajos recientes han sido planteados a nivel de propuesta por Kunreuther *et al.* (2001), Ganderton (2003), Smyth *et al.* (2004), Grossi *et al.* (2005), Mechler (2005) y Cardona *et al.* (2008b), Cummins *et al.* (2009), pero un enfoque propiamente probabilista de la relación beneficio-costos no se ha logrado en forma completa. En la práctica pocas aplicaciones se han hecho de modelos actuariales probabilistas de los cuales se derive el desarrollo de instrumentos y estructuras alternativas de protección financiera de los Estados y el soporte económico y social de la realización de inversión pública en reducción del riesgo –refuerzo estructural– en el ámbito de la gestión financiera del riesgo de desastre.

#### 1.4. Contenido de la tesis

Este documento está dividido en once capítulos y ocho anexos. El Capítulo 2 hace referencia a los efectos de los eventos extremos y menores recurrentes desde el punto de vista económico y social a nivel nacional, subnacional y local y al impacto negativo que estos desastres pueden generar sobre el desarrollo y los presupuestos públicos de un país. Se hace referencia a las implicaciones que pueden tener estos sucesos para el Estado, dada su responsabilidad frente al riesgo acumulado, lo que conlleva a un riesgo político si el riesgo de desastres es manejado inadecuadamente. Se hace claridad, por una parte, que aunque mitigar el riesgo debería ser la primera prioridad, siempre existirán sucesos catastróficos que no se pueden prevenir o donde la prevención puede ser prohibitivamente costosa. Es decir, que ninguna sociedad puede proporcionar un nivel de riesgo nulo; especialmente cuando se tienen en perspectiva sucesos que son los menos probables de materializarse. Por otra parte, las medidas correctivas en el diseño sísmico de edificaciones podrían estar basadas en el diseño basado en el riesgo donde existen niveles de exigencia diferenciales según el uso y condiciones de la edificación. Adicionalmente, los eventos poco frecuentes pero de gran magnitud hacen necesaria la formulación de planes de emergencia y asegurar el presupuesto para cubrir los costos de la recuperación (rehabilitación y reconstrucción). Por lo tanto, se hace énfasis en que es necesario hacer un cambio de paradigma en relación con las acciones de gestión

*ex post* a medidas *ex ante* para asegurar los fondos necesarios para hacer frente a desastres menores y mayores mediante la reducción del riesgo (prevención y mitigación) y mecanismos de protección financiera. Especial énfasis se hace en el caso de la reducción del riesgo sísmico.

En el Capítulo 3 se presenta una síntesis de por qué el Estado debe contar con una política pública de protección o gestión financiera frente al riesgo soberano que se deriva de los desastres. Se hace referencia a la responsabilidad fiscal y se sustenta que los desastres son obligaciones y pasivos contingentes del Estado. Ahora bien, por un lado se explica la problemática que surge debido a que la percepción del riesgo de los ciudadanos puede ser baja por lo que no asumen una responsabilidad y respuesta de prevención o mitigación del riesgo y por otro lado, cuando los gobiernos podrían optar por determinar medidas de gestión del riesgo, la percepción a este nivel, igualmente puede ser mínima, debido a la falta de voluntad política para intervenirlo o para prepararse financieramente frente al mismo. Desafortunadamente estas decisiones pueden no ser muy visibles y por lo tanto no se consideran normalmente una prioridad en la agenda política. En este sentido, se hace referencia a que la financiación del riesgo es un enfoque o componente incipiente de la gestión del riesgo; todavía desconocido y de poco interés para los gobiernos, pero que puede hacer una notable diferencia para la gestión en general si se logra que se entienda debidamente.

El Capítulo 4 hace referencia a la razón por la que se debe incluir en el análisis de las finanzas de un país el impacto de los fenómenos naturales y cómo con una estrategia basada en diferentes instrumentos financieros, como los descritos, se podrían evitar desequilibrios macroeconómicos importantes. Es decir, que la ausencia de estrategias de protección financiera que permitan hacer frente al impacto de los desastres, y particularmente de los causados por terremotos intensos, puede influir de manera adversa en el desarrollo de un país. Se concluye que el entendimiento del riesgo de desastres debido a fenómenos naturales, como los terremotos, permitiría crear valiosos incentivos para que los países generen opciones y herramientas de planeación para reducir los daños potenciales. Dichos incentivos parten del análisis y la utilización de mecanismos de protección financiera, los cuales contribuyen a hacer evidente la importancia de la gestión del riesgo de desastres. Por otra parte se describen algunas experiencias recientes de funcionamiento de instrumentos de protección financiera en algunos países, especialmente de América Latina y el Caribe.

En el Capítulo 5 se hace referencia a las implicaciones que tiene no tener una política pública *ex ante* bien definida desde el punto de vista financiero en un país propenso a desastres y la necesidad de desarrollar una estrategia de protección financiera para las diferentes fases de intervención y reacción en caso de que se presente un desastre. Adicionalmente, se hace una síntesis de los principales instrumentos financieros factibles de retención y transferencia del riesgo que tienen posibilidad los gobiernos de utilizar para enfrentar las pérdidas causadas por fenómenos peligrosos, se presentan los conceptos básicos acerca del papel tradicional de la industria de seguros y reaseguros, la titularización y otros esquemas financieros utilizados o que se podrían explorar para integrarlos a la gestión integral del riesgo de desastres, las ventajas de cada una de los instrumentos alternativos y la importancia de conocer el funcionamiento de cada uno para definir una estrategia combinada consistente con las capacidades económicas de cada país.

El Capítulo 6 describe los módulos que conforman un modelo probabilista de riesgo catastrófico y cómo con base en este tipo de modelización se estiman las pérdidas probables de diferentes portafolios de elementos o activos expuestos con métricas como la Curva de Excedencia de Pérdidas, la Pérdida Máxima Probable y la Pérdida Anual Esperada. Mediante estas técnicas de estimación de pérdidas y utilizando modelos analíticos y prospectivos se evalúa el potencial de pérdidas máximas esperadas durante un tiempo de exposición y se determina la capacidad o el acceso a recursos económicos que permitan cubrir el déficit que puede generar un desastre en el futuro. Este tipo de cálculo es fundamental para proyectar los mecanismos financieros factibles y las estructuras alternativas de retención y transferencia del riesgo de acuerdo con un análisis de optimización financiera. Por otra parte se describe el análisis del riesgo por eventos menores y recurrentes, que implican efectos financieros y sociales importantes en una región, y para los cuales los métodos probabilistas no son adaptables dada la falta de correlación de las pérdidas y por lo tanto se desarrolla un modelo empírico para este tipo de eventos.

En el Capítulo 7 se describen los parámetros que se consideran en el diseño de una estructura de protección financiera basada en capas de pérdida y los criterios que se tienen en cuenta para determinar cuál es la estructura o combinación de capas de retención y transferencia (estratificación del riesgo) que mejor se adapta a las condiciones existentes en cada país para cubrir el riesgo soberano. Con base en las métricas probabilistas obtenidas de los modelos de evaluación del riesgo que es posible construir esquemas de retención y transferencia del riesgo con el fin de estimar las pérdidas que cada sector de la administración pública podría asumir en caso de que se generen pérdidas. Hasta aquí, la tesis propone y describe la manera de sustentar la protección financiera frente al riesgo de los desastres como una estrategia clave, acopiando y adaptando en forma coherente conceptos y enfoques de diferentes disciplinas, como la ingeniería sísmica, la ingeniería de estructuras, el análisis financiero y actuarial, el análisis probabilista del riesgo, la macroeconomía y la ciencia política. No obstante, que se han hecho avances puntuales en algunos países, como se verá más adelante, en ninguno hasta ahora se ha logrado hacer un proceso completo como el que se propone y describe aquí. Sin embargo se han dado pasos en algunos países en el transcurso del desarrollo de esta tesis que indican que este planteamiento será asumido integralmente pronto en algunos de ellos donde ya se han logrado resultados prometedores.

El Capítulo 8 presenta una serie de aplicaciones de la modelización del riesgo catastrófico para ilustrar cómo con este tipo de técnicas es factible desarrollar una política de protección financiera como la que se ha propuesto previamente. Primero, se describen los diferentes cálculos que permitieron la modelización del riesgo catastrófico a nivel local y el diseño de la estrategia de aseguramiento colectivo voluntario para la protección financiera de los edificios privados localizados en la ciudad de Manizales, en Colombia, utilizando el cobro del impuesto predial. Mediante este instrumento financiero se logró la protección de los estratos de menores ingresos de la población, utilizando un esquema de subsidio cruzado. De igual forma se describen los cálculos para la estimación probabilista del riesgo de las edificaciones privadas de Bogotá, capital de Colombia, y la propuesta de estructura óptima de retención y transferencia del riesgo para cubrir las edificaciones privadas, incluyendo las de más bajos ingresos. Se presentan los cálculos realizados con el sistema RN-COL,

que ha sido la herramienta especializada y específica con la cual se han hecho las evaluaciones de riesgo de los portafolios mencionados y con la cual se han propuesto los respectivos mecanismos de protección financiera. Igualmente, se presenta la estimación probabilista del riesgo de Barcelona, España, con el fin de aportar la curva de PML y los valores de pérdida anual esperada, con los cuales se pueden desarrollar esquemas de protección financiera por parte de la ciudad o por parte del Consorcio Español de Seguros. Dichos resultados fueron obtenidos utilizando la plataforma CAPRA.

En Capítulo 9 se presenta la modelización probabilista del portafolio de inmuebles públicos de Colombia, de acuerdo con estudios realizados para el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, con el fin de determinar la responsabilidad fiscal del gobierno central. Por otro lado, se presenta una modelización *coarse grain* del riesgo a nivel nacional, con el fin de dar cuenta del pasivo contingente a nivel soberano que implican los desastres extremos. Esto se ha logrado utilizando el Índice de Déficit por Desastre (IDD), propuesto en el marco del Programa de Indicadores de Riesgo y Gestión del Riesgo para países de América Latina y el Caribe del BID y el cual ha sido calculado durante los últimos años para veintitrés países de la región., También se presentan los resultados de los indicadores de valoración de las pérdidas y la capacidad de los países para afrontarlas, obtenidos en el marco del desarrollo del nuevo *Global Risk Model*, en el cual se han evaluado 206 países para el *Global Assessment Report*, GAR 2013, de la UN-ISDR. Trabajo realizado por el consorcio entre CIMNE, INGENIAR, ITEC y EAI con el apoyo de la UNAM. Es importante señalar que la aplicación del IDD a diferentes países de las Américas se ha realizado principalmente con el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo y en el marco de actividades de asesoría técnica del consorcio ERN-AL, liderado por el CIMNE. De igual manera la evaluación del riesgo del portafolio de inmuebles públicos de Colombia se realizó con el apoyo financiero del Banco Mundial y el gobierno de Colombia. El diseño del esquema de protección financiera para Manizales se realizó con apoyo financiero del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá, IDRC, y se llevó a cabo con aportes del Instituto de Estudios Nacionales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Manizales y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y con el soporte administrativo y legal de la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres de Manizales (OMPAD, hoy Unidad Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres). El estudio del riesgo sísmico de Barcelona utilizando métricas probabilistas con fines de seguros se realizó en el marco del proyecto MOVE de la FP7 de la Comisión Europea y con el apoyo del Instituto Municipal de Hacienda del Ayuntamiento de Barcelona. .

El Capítulo 10 presenta las conclusiones de esta tesis y propone futuros trabajos y líneas de investigación que permitirían ampliar el conocimiento en la gestión financiera del riesgo de desastres y el Capítulo 11 presenta las publicaciones que se han derivado de la tesis y los proyectos a los cuales ha estado vinculado su desarrollo y se han hecho contribuciones relevantes.

Finalmente, el Anexo A presenta un glosario de términos especializados relacionados con la temática de la evaluación del riesgo sísmico con fines de retención y transferencia y con el propósito de la protección financiera. El Anexo B describe la forma como se podría estimar el gasto inter-temporal para desastres, es decir, de acuerdo al monto del superávit intertemporal conocer las condiciones de sostenibilidad

del gobierno y de esta manera la capacidad de endeudamiento adicional que este pueda tener para recuperarse. En el Anexo C describe la formulación analítica actuarial de varias posibles modalidades de bonos de catástrofe y la implementación de un Bono CAT desarrollado en los Estados Unidos por la Swiss Re. El Anexo D, se refiere a la manera como se debe determinar la regla óptima de acumulación y gasto para lograr la mejor eficiencia posible de un fondo de reservas. En el Anexo E se describe el diseño de un fondo de compensación para el aseguramiento de municipios pequeños y grandes y con la participación del sector de seguros y el gobierno nacional. El Anexo F presenta el Decreto 4865 de seguro de terremoto de Colombia donde se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se definen normas sobre las reservas técnicas para el seguro de terremoto y para reglamentar el uso de modelos técnicos de riesgo catastrófico. En el Anexo G se exponen las relaciones analíticas entre medidas de riesgo y la tasa de excedencia. Finalmente, el Anexo H presenta una breve descripción del seguro colectivo en Manizales desde sus inicios hasta obtener análisis más cuidados del diseño del seguro basado en modelos técnicos y científicos avanzados para tener mayor certeza de los rangos de incertidumbre en que se encuentra.

## Capítulo 2.

# IMPACTO ECONÓMICO DE LOS DESASTRES

En general un desastre implica daños, pérdidas y efectos consecuenciales para la sociedad. Esta situación se convierte en un perjuicio aún más grave cuando la comunidad afectada no puede absorber el impacto ni tiene capacidad para recuperarse usando sus propios recursos y reservas. Un desastre, sea menor o mayor, es un proceso social que se desencadena resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, tecnológico o antropogénico, que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad del contexto social y material, causa alteraciones severas en las condiciones normales de funcionamiento de una comunidad y exige del Estado la ejecución de acciones de respuesta y recuperación ineludibles.

Aunque se asocie muy comúnmente el desastre con el suceso que lo origina, la intensidad de un desastre depende no solamente de la intensidad del fenómeno sino del grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos. Existe una correlación entre la falta de desarrollo económico y social y la vulnerabilidad y por esta razón no se requiere de un suceso muy intenso para que ocurra un desastre. Esto es especialmente importante en el caso de los desastres menores y moderados donde la vulnerabilidad tiene un rol preponderante; y por lo tanto los gobiernos deben tener especial claridad de qué hacer frente a esta vulnerabilidad. La fragilidad física, económica y social son factores de vulnerabilidad que se traducen en la ausencia de capacidad para resistir, recuperarse y adaptarse. Esta susceptibilidad y falta de resiliencia podrían ser intervenidas en forma anticipada para reducir el riesgo; de ahí la importancia de su identificación e intervención. En áreas propensas una alta vulnerabilidad se ve reflejada especialmente cuando se presentan fenómenos no necesariamente intensos; pues cuando los fenómenos son extremadamente severos la vulnerabilidad se satura frente a la intensidad del fenómeno y el desastre se hace enorme. En otras palabras, los desastres son sucesos socio-ambientales cuya materialización es el resultado de la construcción social del riesgo (Cardona 2004). Por lo tanto, los desastres no sólo dependen de la posibilidad de que se presenten sucesos o fenómenos naturales intensos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan que se desencadenen cuando se presentan dichos fenómenos. El origen de los efectos que se presentan cuando un evento ocurre (ya sea pequeño, moderado o catastrófico) es el del fenómeno que ocurre con cierta intensidad (natural o de otro tipo) y su nivel de afectación es mayor o menor dependiendo del grado de vulnerabilidad y de la magnitud del evento, como se representa en la Figura 2.1. De esto depende de que se hable de un riesgo intensivo o extensivo.



Los gobiernos, por lo tanto, deben determinar cómo está configurado el riesgo que tienen. El riesgo catastrófico puede derivarse de un potencial de sucesos muy severos difíciles de resistir o de sucesos moderados o incluso menores que encuentren condiciones de muy alta vulnerabilidad. De este análisis depende la factibilidad y pertinencia de implementar o medidas de reducción del riesgo (intervención de la vulnerabilidad), o medidas de protección financiera (retención y transferencia de pérdidas), o ambas. Usualmente se deben implementar ambas pero es necesario evaluar el riesgo para determinar la manera más apropiada y óptima como un gobierno debe enfrentar el problema de los desastres.

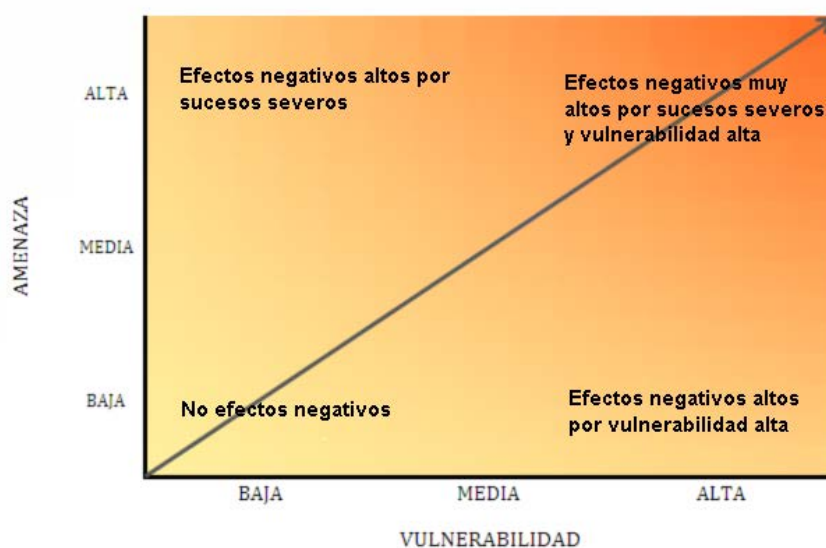


Figura 2.1. Intensidad del desastre de acuerdo a la intensidad de la amenaza y la vulnerabilidad

## 2.1. Diferenciación entre riesgo intensivo y extensivo

De acuerdo con lo anterior, el *riesgo intensivo* se refiere a la posibilidad de que se presenten eventos peligrosos extremos. Usualmente debido a sucesos concentrados geográficamente que se presentan con baja frecuencia. El riesgo intensivo está relacionado principalmente con fenómenos de gran magnitud que afectan simultáneamente a un gran número de elementos expuestos, agotando y muchas veces desbordando los mecanismos de respuesta, no sólo locales sino incluso nacionales. Por otra parte, el *riesgo extensivo* se refiere a un riesgo difuso en el tiempo que se presenta como resultado de sucesos de una mayor frecuencia en diferentes territorios; sus impactos usualmente afectan a pocos hogares y comunidades y los mecanismos locales y nacionales de resiliencia podrían resultar efectivos si se aplican. Sin embargo, las pérdidas extensivas recurrentes afectan acumulativamente a amplias zonas a intervalos regulares y podrían causar la erosión o el agotamiento de los activos o medios de

sustento, lo cual tiene un efecto considerable importante en la capacidad para absorber pérdidas futuras y recuperase (EIRD 2009).

Las bases de datos globales de desastres y los índices de riesgo reflejan principalmente patrones de riesgo intensivo dado que el riesgo extensivo generalmente es invisible desde una perspectiva global. Los patrones de riesgo extensivo sólo son visibles a nivel subnacional o a una mayor resolución, por lo que constantemente son ignorados. Debido a su poca visibilidad, el riesgo extensivo no ha sido el que ha orientado la reducción del riesgo de desastres, la cual se ha enfocado principalmente a la reducción de pérdidas económicas mayores. Ahora bien, los “desastres menores”, que usualmente configuran el riesgo extensivo, son a menudo resultado de la variabilidad climática y del aumento de la vulnerabilidad desde una perspectiva económica, social y ambiental. Estos desastres menores se traducen en un serio problema de riesgo, debido a que destruyen los medios de sustento de los más pobres y profundizan su incapacidad de adaptación perpetuando su vulnerabilidad y la pobreza. Por lo tanto, aunque el riesgo extensivo o por desastres menores usualmente no se considera importante, es una problemática social y ambiental que tiene grandes implicaciones para un gobierno cuando lo identifica. Esta problemática se deriva de los eventos frecuentes que afectan de manera crónica el nivel local y subnacional, afectando en particular a los estratos socioeconómicos más frágiles de la población y generando un efecto altamente perjudicial para el desarrollo de un país. En ese sentido para un gobierno debe ser muy importante determinar qué tan propenso es el país a la ocurrencia de desastres menores y al impacto acumulativo que causa este tipo de sucesos al desarrollo local. Dichos sucesos en su mayoría, están relacionados con fenómenos persistentes como deslizamientos, avalanchas, inundaciones, incendios forestales, sequías que pueden ser el resultado de procesos socio-naturales asociados con el deterioro ambiental, y también con terremotos, huracanes y erupciones volcánicas de menor escala (Marulanda *et al.* 2008b; Marulanda *et al.* 2010; Marulanda *et al.* 2011).

En conclusión, los pequeños y grandes desastres generan graves impactos. Los costos relacionados con las manifestaciones de riesgo extensivo son importantes, en especial, si se observan de una manera acumulativa, mientras que en el riesgo intensivo las consecuencias económicas se reflejan rápidamente y de manera puntual o concentrada como se ilustra en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2 para Colombia. De cualquier forma, los desastres, tanto pequeños como moderados y catastróficos, demandan importantes esfuerzos sobre los ya menguados presupuestos públicos y obliga a los hogares a cambiar abruptamente sus estrategias de consumo-ahorro-acumulación de activos. Adicionalmente, con el tiempo, el riesgo extensivo puede convertirse en intensivo; es decir, el riesgo intensivo muchas veces se superpone con los patrones del riesgo extensivo. Grandes desastres pueden ocurrir como resultado de la continua ocurrencia de desastres menores que minan la capacidad de los agentes expuestos.

A pesar de la investigación que se ha realizado a nivel internacional en relación con el impacto de los desastres en el desarrollo, la incorporación formalmente del riesgo de desastre en los procesos de planificación ha sido hasta ahora muy tímida. Aunque en la mayoría de los países en desarrollo se incluyen en sus presupuestos algunas partidas, principalmente para la preparación y atención de emergencias, y en algunos casos se hacen esfuerzos para orientar recursos hacia actividades de planificación referidas a la mitigación del riesgo, en muchos de ellos no se contabilizan las pérdidas futuras en forma probabilista, como un componente permanente del

proceso presupuestario. Es decir, que no se cuenta con la información necesaria para considerar y evaluar alternativas para reducir o financiar dichas pérdidas. En otras palabras, esto en parte explica porqué las políticas encaminadas hacia la reducción del riesgo no reciben realmente la atención que requieren. De acuerdo con lo anterior, los gobiernos deberían identificar y establecer estrategias eficaces para reducir o financiar las posibles consecuencias con base en los costos y beneficios de cada alternativa de gestión del riesgo.

**Tabla 2.1.** Comparativo de daños y pérdidas de los eventos menores con desastres extremos

TIPO DE DAÑOS Y PÉRDIDAS	ARMERO (1985)	TERREMOTO DEL EJE CAFETERO (1999)	EVENTOS MENORES (1971-2002)
Muertos	24,442	1,862	9,475
Afectados	232,546	160,336	1,745,531
Viviendas destruidas	5,402	35,949	93,160
Viviendas afectadas	NA	43,422	217,075
Hectáreas de cultivos destruidas	11,000	NA	2,174,713

Fuente: DesInventar

**Tabla 2.2.** Pérdidas de eventos extremos, millones de dólares (corrientes) y en %PIB

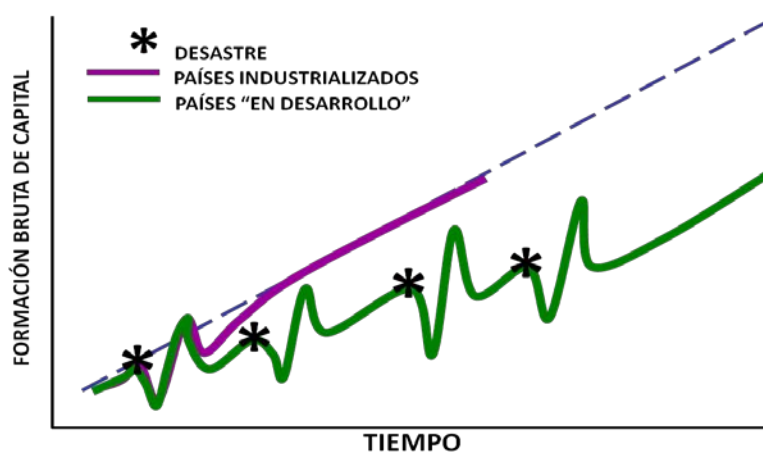
EVENTOS	PÉRDIDAS ESTIMADAS	COSTOS DE REHABILITACIÓN
Erupción del Volcán Nevado del Ruiz (1985) Armero	246.05 (0.70)	359.95 (1.02)
Terremoto de la Región Cafetera (1999) Quindío	1,590.81 (1.88)	856.72 (1.01)
Eventos pequeños y moderados (1971-2002)	1,652.89	NA

Fuente: Eventos extremos, ERN Consultores para el DNP

## 2.2. Implicaciones de los desastres y retos para el Estado

Los desastres desaceleran el crecimiento económico, en términos macroeconómicos y las implicaciones pueden ser grandes y duraderas. Los efectos inmediatos de una catástrofe pueden ser la destrucción de parte de los activos físicos de una economía incluyendo el *stock* de capital, la infraestructura, los recursos naturales y la fuerza laboral, mientras que a largo plazo los efectos pueden ser la disminución de la producción y el deterioro en los balances del presupuesto público que podrían incrementar la inflación o podrían generar gastos financieros adicionales para el gobierno. Adicionalmente, dada la debilidad generada por el desastre podría implicar una mayor susceptibilidad en caso de ocurrir un suceso, incluso si éste no fuera de gran magnitud (Freeman *et al.* 2003). Como se presenta en la Figura 2.2, los impactos macroeconómicos causados por fenómenos naturales en algunos países pueden ser serios a largo plazo y en cuanto a otros países pueden significar sólo una interrupción económica menor. Una de las principales razones es la condición económica del país en el momento en el que ocurre el suceso, dado que los costos directos tienden a ser

mayores cuando las condiciones económicas son peores (CEPAL 1999; UNDP 2001; Benson 1997c, b, a; Albala-Bertrand 1993).



**Figura 2.2.** Efecto de una sucesión de desastres sobre la formación bruta de capital. Fuente: ECLAC

Una de las actividades esenciales después de que ocurre un desastre es la reconstrucción de inmuebles, que es saludable en cuanto a la reposición de un *stock* perdido, sin embargo, aparte de la reposición debería adoptarse un modelo que tome en cuenta el desarrollo sostenible de la comunidad afectada y no simplemente reconstruir la vulnerabilidad. Además, se debería considerar la recuperación del “flujo de ingresos”, el cual se ve abruptamente disminuido por el desastre y requiere de medidas económicas estructurales, con inversiones robustas, para su recuperación y fortalecimiento, a efectos de que la economía local genere su propia dinámica de recuperación y reposición de pérdidas del *stock*. En consecuencia, en general debe revisarse el alcance de la acción del Estado en relación con la “rehabilitación” y orientar esfuerzos hacia la recuperación del flujo de ingresos. No es extraño que los gobiernos reconstruyan viviendas e infraestructura, pero son muchos los casos en los cuales las reconstrucciones realizadas no han hecho el debido énfasis en la recuperación de los flujos de ingresos que son fundamentales para recuperar una comunidad afectada. En conclusión, un proceso de reconstrucción es una oportunidad para realizar una recuperación con transformación para lograr procesos de aprendizaje continuos y enriquecer y fortalecer la política pública de gestión de riesgos, y esto depende del enfoque, la integralidad y decidida inversión que realice el Estado y de la existencia de mecanismos eficientes, autónomos y con recursos financieros suficientes tanto para prevenir y atender desastres como para la rehabilitación y reconstrucción

### **2.1.1. Responsabilidad y exposición fiscal**

Los gobiernos en todos los niveles –nacional, subnacional y local– son propietarios importantes de bienes. Tienen una responsabilidad por la seguridad de los activos públicos, incluyendo escuelas, hospitales y clínicas, redes de acueducto y alcantarillado, infraestructura eléctrica, vías, puentes, entre otros. La protección de edificios históricos también es un aspecto a considerar dado que estos edificios son patrimonio cultural por su valor intrínseco, lo que significa que son irremplazables en caso de que sean gravemente afectados o destruidos. En cuanto a las pérdidas del sector privado, aunque a primera vista cubrirlas no parece ser una responsabilidad de los gobiernos, puesto que protegerse y proteger su patrimonio debe ser una responsabilidad de los particulares, las presiones políticas y sociales pueden conducir al gobierno a aceptar responsabilidades adicionales después de la ocurrencia de un desastre, que frecuentemente suponen un riesgo fiscal mayor para los gobiernos. En ciertos casos, el gobierno puede incluso establecer que si alguna persona construye en zonas de alto riesgo, no acudirá en su auxilio si se presenta un desastre. Sin embargo, los agentes no toman en serio dicha advertencia dado que consideran que si ocurre un deslizamiento, una inundación o cualquier otro suceso que cause un desastre, el gobierno no podría cumplir con ese propósito y terminará auxiliando a las personas afectadas por el desastre. Este fenómeno es conocido como el problema de inconsistencia temporal de las políticas económicas. Está asociado a la interacción estratégica entre los agentes y el Estado. En la medida que este problema se presente y el gobierno no tenga mecanismos para ganar reputación o inhibirse de actuar, deberá incluir en sus obligaciones las pérdidas probables que afectan a todos los sectores de la población que, infortunadamente, violan los códigos de construcción y los usos del suelo urbano. En otras palabras, desde el punto de vista político, hay situaciones en las cuales no es factible desatender las necesidades de reconstrucción de las comunidades más pobres afectadas por un desastre, sin embargo, asumir la responsabilidad implícitamente conlleva en muchos casos al desinterés, por parte de la población, a invertir en medidas de protección.

Cubrir las pérdidas de la infraestructura pública y de las comunidades de más bajos ingresos es, en general, una responsabilidad fiscal del Estado (Andersen 2002, 2004). Sin embargo, en los desastres es posible que sectores de la población que no eran objeto de la política social antes de producirse el desastre terminen perdiendo su patrimonio y caigan en condiciones de pobreza. Un utilitarista defendería la subsidiaridad del Estado en esta situación (Sen 2000). Así las cosas, la responsabilidad de los gobiernos puede extenderse dependiendo de la gravedad del suceso y de las externalidades negativas que se generen como consecuencia del desastre. En este sentido, es importante establecer un marco coherente que permita determinar con el mayor rigor posible la compatibilidad de los equilibrios macroeconómicos con las decisiones y responsabilidades de cada uno de los agentes de la economía. En estas circunstancias, se puede decir que para el gobierno la opinión pública es la fuerza que dirige muchas de las decisiones, detrás de la gestión de riesgos, y por lo tanto estas decisiones están cargadas de implicaciones políticas. En algunos casos la política del manejo del riesgo se rige por los valores sociales más que por un análisis de costo beneficio. Las obligaciones implícitas representan un compromiso moral o un gasto esperado para el gobierno, no en el sentido legal sino en las expectativas públicas y las

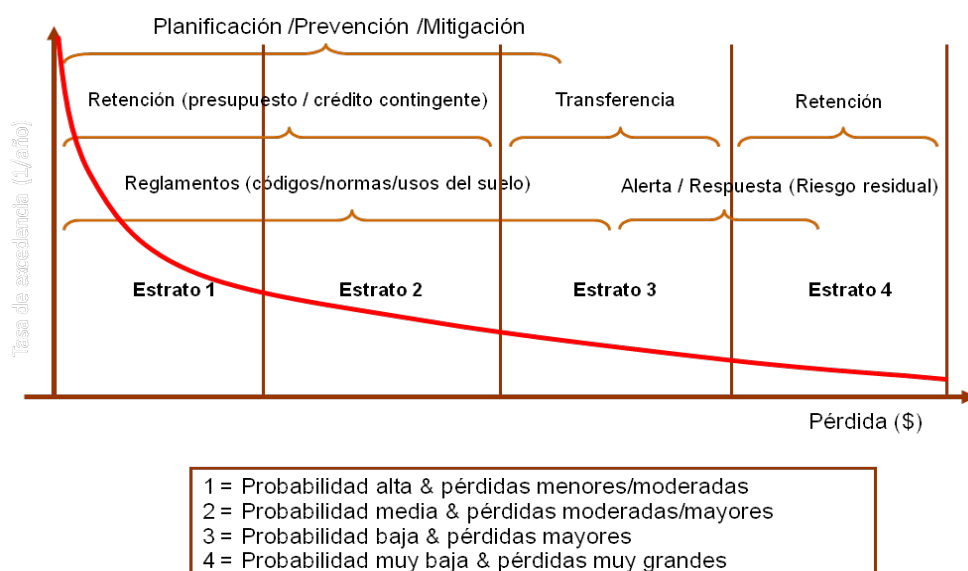
presiones políticas (Polackova 1999). En otras palabras, la responsabilidad del gobierno desencadenada por un suceso es incierta, el riesgo es difícil de estimar y el nivel de participación de un gobierno es difícil de predecir (Ghesquiere *et al.* 2010).

De acuerdo a lo anterior, suponiendo que las empresas privadas y del gobierno se protegen de las pérdidas por desastres por medio de su ahorro y los seguros, y los hogares de ingresos medios y altos, que cuentan con activos financieros, ahorros y mecanismos de cobertura del riesgo; se concluye que es necesario que el Estado, aparte de cubrir la infraestructura pública, cubra las pérdidas causadas por desastres en los hogares de más bajos ingresos, que carecen de activos financieros, que simultáneamente son racionados por los mercados de capitales y gastan todo lo que ganan, es decir, carecen de ahorros. Por supuesto, si el gasto del Estado no cubre el monto de las pérdidas, los hogares asumirán las consecuencias reduciendo sus activos de capital (bienes durables y casas), ahondando aún más su nivel de pobreza.

### **2.1.2. Recuperación con gestión del riesgo**

Después de un desastre mayor existe la oportunidad de promover una reconstrucción con transformación y la posibilidad de ajustar la legislación para estimular la consolidación de la gestión integral del riesgo. Usualmente hay una mayor sensibilidad de todos los actores del sector público y privado y es factible argumentar la necesidad de cambios en el paradigma, enfocándose más en la gestión del riesgo que en la gestión del desastre. En esos casos el propósito del gobierno debería consistir en establecer una serie de estrategias de gestión del riesgo diferentes para cada nivel de riesgo (Figura 2.3), pues de acuerdo con los costos, puede resultar más beneficioso reducir el riesgo extensivo mediante una combinación de estrategias prospectivas y correctivas, y para el riesgo intensivo, implementar estrategias compensatorias; es decir, de financiación de riesgos por medio de seguros, reaseguros, mercado de capitales, entre otros. Sin embargo, los sucesos con baja probabilidad de ocurrencia y altas consecuencias no tienden a ser una preocupación mayor para una comunidad, especialmente si han pasado varios años desde el último desastre, por lo cual las decisiones sucesivas y las consiguientes inversiones de los individuos, de las empresas privadas y públicas en diferentes niveles y a diferentes escalas tienden, a lo largo de mucho tiempo, a aumentar considerablemente la acumulación de activos en riesgo (Maskrey 1996; Oliver-Smith *et al.* 1999). Es común que esta situación genere que muchas veces el sector público no le dé mayor relevancia al tema de la gestión del riesgo de desastres, y, a pesar de que algunos gobiernos son conscientes de su exposición a ciertas amenazas, sólo unos pocos cuentan con un proceso integral de gestión del riesgo. Como consecuencia, la mayoría de las pérdidas son financiadas una vez el suceso se presenta. En la mayoría de los países de la región de América Latina y el Caribe, los fondos para la atención de emergencias (de calamidades o de desastres) y para la reconstrucción son diversos y tienden a ser enfocados principalmente a la acción *ex post*. Es común que se decida realizar el desvío del presupuesto, el establecimiento de nuevos impuestos, la adquisición de nuevos préstamos nacionales e internacionales y esperar la ayuda internacional cuando se presentan desastres que puede traducirse en una disminución en la capacidad económica de los ciudadanos y además tener repercusiones en la economía del país o la región, igualmente, los

gobiernos locales y departamentales usualmente cuentan con una ayuda nacional que funciona como un seguro sin costo que, infortunadamente, desincentiva el contar con fondos locales para la prevención, mitigación y preparación. Alternativamente, podría posponer o diferir los planes de inversiones incluyendo aquellos que podrían en el futuro mitigar esta clase de desastres. Adicionalmente, la falta de liquidez inmediata después de un desastre frecuentemente retrasa la recuperación y perjudica los programas de desarrollo y de inversión pública.



**Figura 2.3.** Estratificación del riesgo de desastre

Dentro de las estrategias de gestión del riesgo, la reducción del riesgo debe hacer parte esencial de los procesos de toma de decisiones, no sólo en el caso de reconstrucción post-desastre, sino también en la formulación de políticas públicas y la planificación del desarrollo. No obstante, a pesar de que se han implementado cambios institucionales que han introducido esquemas modernos para enfrentarlos, los problemas de organización y asignación de recursos a las actividades de prevención y mitigación de riesgos persisten. Es necesario mejorar el desarrollo institucional y estimular la inversión para la reducción del riesgo con fines de contribuir al desarrollo sostenible de los países, mediante el fortalecimiento de las políticas públicas de reducción del riesgo y complementando con la optimización de las funciones y capacidades humanas, recursos financieros y autoridad política de una forma descentralizada y con los presupuestos correspondientes (EIRD/ONU 2011). Los gobiernos juegan un papel indispensable en el establecimiento de políticas y regulaciones públicas que modifican las condiciones del riesgo y los costos financieros de su retención o transferencia. Algunas regulaciones del gobierno (códigos de construcción, normas, reglamentos de usos del suelo, etc.) y políticas de incentivos

(impuestos, préstamos de bajo costo, subsidios, etc.) pueden reducir el potencial de desastre.

### 2.3. Necesidad de anticiparse mediante la reducción del riesgo

La prevención y la mitigación del riesgo y la planificación orientada a impedir o reducir los impactos negativos debido a la ocurrencia de fenómenos naturales, pueden contribuir al desarrollo desde el punto de vista social, ambiental y económico, la productividad y la generación de activos. A pesar de las diferentes metodologías empleadas que existen para el cálculo de los costos y beneficios relativos a las iniciativas de reducción del riesgo de desastres, la mayoría de los estudios indican retornos potenciales altos con tasas de retorno internas del 20% al 50%. Una interpretación tentativa de los resultados es que por cada dólar invertido en reducción del riesgo de desastres son devueltos entre 2 y 4 dólares en términos de no permitir o reducir los impactos (DFID 2006).

Las iniciativas de inversión en prevención y mitigación pueden proporcionar beneficios adicionales a la preparación para desastres, lo que se traduce en mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos. Se trata de un desarrollo que da cuenta del bienestar social, económico y ambiental porque se disminuyen los riesgos existentes y se puede evitar la generación de nuevos riesgos. En otras palabras, aunque son muchas las incertidumbres inherentes frente a los desastres, las estrategias de reducción y de inversión son acciones que contribuyen inevitablemente a un desarrollo sostenible.

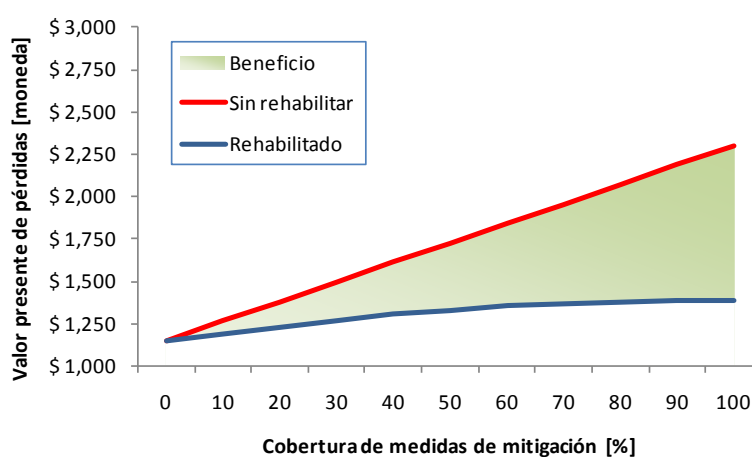
En general, las comunidades en riesgo tienen presupuestos limitados, y, si no cuentan con medidas *ex ante* inevitablemente tendrán que encontrar soluciones en la recuperación *ex post* incrementando sus limitaciones presupuestales. Una población puede comparar sistemáticamente las estrategias disponibles de reducción del riesgo y de esta manera, muy probablemente usar óptimamente sus recursos limitados (Dodo *et al.* 2004). Por consiguiente, es importante contar con información de los costos económicos y los beneficios de las inversiones en relación a los limitados recursos públicos y privados. En general, los costos asociados a la adopción de medidas de mitigación que implican la reducción de la vulnerabilidad y la reubicación de los elementos expuestos dependen directamente del nivel de riesgo económico, ya que está relacionado con el número y estado de los elementos expuestos. A mayor número de elementos expuestos y en la medida en que el estado de los mismos es peor, es decir, a mayor vulnerabilidad, mayor será la inversión requerida para reducir el riesgo. La ausencia de información conlleva a los tomadores de decisiones a reaccionar reactivamente a comprometer fondos significativos para la reducción del riesgo (Benson *et al.* 2004). Más aún, si se tiene en cuenta que en muchos casos los beneficios de las actividades de mitigación no se perciben, dado que éstos son las pérdidas evitadas que hubiesen ocurrido sin el proyecto de mitigación. Construir una cultura de la prevención no es fácil, cuando los costos de prevención tienen que ser pagados ahora y sus beneficios están en un futuro distante y no son tangibles: son desastres que no ocurrieron (Annan 1999).

De acuerdo a lo anterior, un análisis costo-beneficio en el contexto de la reducción del riesgo puede ser usado para tres propósitos principales: (i) evaluar las



medidas de reducción del riesgo para hacer la infraestructura más resiliente a las amenazas, (ii) incorporar el riesgo de desastres en los proyectos de desarrollo, (iii) aumentar la conciencia y la educación. Llevar a cabo análisis beneficio-costos para los proyectos potenciales de reducción del riesgo además de ayudar a seleccionar los proyectos más rentables en términos de reducción de pérdidas y daños debe involucrar un portafolio “integrado” de intervenciones que considere el contexto complejo y dinámico del desarrollo. No sólo concentrar los esfuerzos en intervenciones estructurales sino reconocer la relevancia de las medidas no estructurales. En general, los análisis de costo beneficio no se enfocan en las percepciones de valor conflictivas, es decir, para los elementos que están basados en la cultura, la religión u otros aspectos sociales, sino que tienen una tendencia a plantear los beneficios relacionados al “crecimiento económico” y minimiza las consideraciones no económicas. La naturaleza utilitaria de la herramienta puede ser interpretada la mayoría de las veces de una forma que no es conveniente en los polémicos debates políticos. Por esta razón, un análisis costo-beneficio debe ser usado en combinación con evaluaciones de estimación de impactos sociales y ambientales que proporcionen evidencia del deseo social de los proyectos. Al existir diferentes opciones de mitigación, se presentan diferentes relaciones de beneficio-costos de las medidas de mitigación con base en lo cual se pueden seleccionar aquellas que presenten las relaciones más favorables. Si estos análisis se usan apropiadamente, dado su potencial de transparencia, puede dar a los expertos una herramienta útil para explorar y entender las implicaciones de las estrategias alternativas (Moench *et al.* 2007). El reto es presentar los análisis a los tomadores de decisiones para ver si están dispuestos a defender las recomendaciones que se proponen, ya que tienen un sentido económico para ellos y al mismo tiempo satisfacen sus preocupaciones políticas.

Los beneficios que se pueden obtener al aplicar medidas de mitigación pueden representarse en términos de ahorro futuro de pérdidas asociadas a eventos de diferente tipo que pueden suceder. Para diferentes niveles de cobertura (eje de las abscisas) se puede calcular el beneficio como la diferencia entre el valor presente neto de las pérdidas en la situación o estado original (cierto grado de vulnerabilidad o exposición) y el valor presente neto en el nuevo estado (rehabilitado o sin exposición). Como lo ilustra la Figura 2.4 los casos más representativos de este tipo de intervención anticipada son el refuerzo estructural (rehabilitación) o la reubicación de edificaciones e infraestructura.



**Figura 2.4.** Beneficio o ahorro en pérdidas

Las pérdidas pueden ser estimadas con o sin implementación de una alternativa particular de mitigación para evaluar la efectividad de cada alternativa. Los costos relativos de las alternativas, el presupuesto y los objetivos específicos no están incorporados y sólo una pequeña parte de las alternativas de mitigación predefinidas pueden ser consideradas.

Casi todos los estudios previos comparan un pequeño grupo de alternativas predefinidas y seleccionan la mejor, en lugar de usar un enfoque de optimización para escoger la mejor combinación de alternativas sujetas a las restricciones de presupuesto (Dodo *et al.* 2004). En general, las posibles medidas de intervención del riesgo tienen asociados costos cuya justificación depende de los beneficios que cada una de ellas puede generar al reducir las posibles consecuencias económicas y sociales. Los análisis de costo-beneficio permiten comparar las diferentes medidas entre sí y definir de esta manera en cuál de las capas de riesgo resulta más o menos apropiada cada una de ellas.

Así, en teoría, la estrategia utilizada por una sociedad para reducir las pérdidas que puede traer sobre ella un desastre, consiste en tomar medidas de mitigación *ex ante* que reduzcan su vulnerabilidad. Una vez se logre reducir al mínimo este riesgo “no diversificable”<sup>1</sup>, la sociedad se debe enfocar en utilizar alternativas de retención y transferencia como los mercados de seguros y de capitales para distribuir el riesgo “diversificable” y así contar con los recursos suficientes para garantizar, una vez ocurrido el desastre, la recuperación tanto de la integridad física de sus miembros como de sus activos.

Andersen (2002) argumenta que las medidas de mitigación no sólo reducen el nivel de pérdidas esperadas, sino que además son una condición necesaria para el desarrollo y la viabilidad de mercados de seguros locales. Pollner (2001) destaca la importancia de las medidas de reducción del riesgo en el contexto de la reducción de la vulnerabilidad de un país desde la perspectiva de los desastres:

<sup>1</sup> El riesgo no diversificable se refiere al riesgo que se puede reducir por medio de la utilización de medidas de mitigación que permitan, antes de la ocurrencia de un evento, disminuir los posibles niveles de pérdidas que éste puede llegar a generar.

- *Medidas Estructurales.* Se definen como aquellas que permiten reducir la vulnerabilidad física con el fin de modificar la estructura de las construcciones o activos que podrían estar en riesgo. Hacen parte de este tipo de medidas el diseño y la puesta en práctica de los códigos de construcción. Es conveniente que existan instituciones reguladoras, encargadas de hacer cumplir tales códigos.
- *Medidas No Estructurales.* Hacen parte de estas medidas todas aquellas destinadas a la identificación de áreas en riesgo y al control de usos del suelo. El diseño de mapas que identifiquen las áreas más propensas a distintos tipos de amenazas y el inventario de activos físicos y construcciones que figuran en tales mapas. Este tipo de medidas requiere la interacción de centros de investigación y prevención de desastres, oficinas de planeación y los catastros descentralizados. Además, dados los incentivos que tiene las empresas aseguradoras para reducir las posibles pérdidas, éstas pueden contribuir con la información que utilizan para la valoración del riesgo, y así disponer de bases de datos más completas.

Cuando el riesgo “no diversificable” se convierte en medidas prohibitivamente costosas, o cuando ya se ha reducido al mínimo este riesgo, existen mecanismos disponibles tanto en el mercado de seguros y reaseguros como en el mercado de capitales para financiar de manera adecuada el riesgo residual. Aunque la transferencia del riesgo es una medida *ex ante* que permite pre-asignar recursos, no es en sí misma una medida de mitigación, dado que no reduce el daño físico potencial. La experiencia mundial ilustra que el aseguramiento y en general las alternativas financieras de retención y transferencia del riesgo frente a los desastres tiene dos grandes ventajas: estimulan la prevención orientada por las empresas aseguradoras y garantizan financiamiento y eficiencia en las actividades de reconstrucción post-desastre.

## 2.4. Reducción del riesgo de desastres sísmicos

Debido a la informalidad y edad de muchos inmuebles, en la práctica pocas edificaciones cumplen con el nivel de riesgo aceptable establecido tácitamente en las normas de construcción. Para conocer el nivel de activos que cumplen con las normas se deberían definir parámetros de riesgo así como también definir intervenciones correctivas y compensatorias para los niveles de riesgo existente, e intervenciones prospectivas y prescriptivas para los posibles nuevos riesgos.

Existen medidas estructurales y no estructurales para evitar o reducir las consecuencias de los fenómenos peligrosos. En el primer caso, en general, se refiere a intervenciones físicas de la amenaza, cuando es posible, o de la vulnerabilidad mediante el refuerzo de estructuras para la protección de la población y sus bienes. Las medidas no estructurales son de especial importancia para que en combinación con las medidas estructurales se pueda mitigar el riesgo de una manera efectiva y balanceada. Estas medidas se refieren a la legislación y planificación como códigos y normas de construcción, la regulación de usos del suelo y ordenamiento territorial, el desarrollo y fortalecimiento institucional, la educación y la preparación de la comunidad, la información pública y campañas de difusión, estímulos fiscales y financieros y promoción de seguros. Estas medidas no estructurales no requieren de significativos

recursos económicos y en consecuencia son muy propicias para consolidar los procesos de reducción del riesgo.

Nuevos enfoques en relación con el nivel de riesgo sísmico aceptable se han promovido al introducir en las normas o códigos el que ha sido llamado el *diseño por comportamiento* (SEAOC 1995; Applied Technology Council 1996; FEMA 1997b, a entre otros). En este enfoque se define un objetivo de seguridad o desempeño de la estructura, que va desde un estado previo al colapso con un daño severo hasta un estado sin daño estructural y no-estructural y un funcionamiento sin interrupciones del edificio, según varios niveles de sollicitación sísmica. Dichas demandas corresponden a sismos de diferente intensidad que varían en su período de retorno, y por lo tanto implican una estimación de la amenaza sísmica para varios sucesos con diferente probabilidad. De esta forma se diseña o se evalúa una estructura no sólo para una demanda sísmica, como ha sido tradicional, sino para varias demandas con probabilidades de excedencia diferentes. Los conceptos del diseño por desempeño fueron desarrollados para el reforzamiento de las edificaciones existentes, aunque para edificios nuevos se podría plantear algo similar, los requerimientos proporcionan estándares mínimos para el uso de la regulación del diseño de edificaciones para mantener la seguridad en el caso de ocurrencia de un movimiento sísmico muy fuerte. Estos requerimientos intentan, principalmente proteger de fallas mayores y pérdidas de vida, no limitar el daño sino mantener las funciones o proporcionar una reparación fácil (FEMA 2004). Los diferentes niveles de seguridad que se establezcan como mínimos según una serie de criterios (uso, edad, sitio, propiedad de uno o varios dueños, etc.) en lugar de desincentivar la reducción de la vulnerabilidad, la favorecería.

Sin embargo, en las normas, los requisitos que se imponen o que se deben cumplir en caso de que una edificación existente deba ser intervenida, en la mayoría de los casos, desestimulan su intervención por su grado de exigencia –pues es necesario llevarla al nivel de seguridad de una edificación nueva – pudiéndose proponer unos niveles de exigencia diferenciales según el uso y condiciones de la edificación. Esto estimularía la intervención para mejorar en algún grado la seguridad y que son beneficiosas en el sentido de reducir el riesgo en un nivel acorde con las implicaciones sociales y económicas que se deriven. A esto, que bien se le puede denominar, “intervención basada en el riesgo” podría plantearse de tal forma que se puedan definir casos en los cuales las exigencias estén limitadas frente a la máxima exigencia, que sólo se podría requerir para edificaciones esenciales (e.g. hospitales) o cuando el propietario así lo desee, por el tipo de implicaciones que tendría interrumpir su producción o sus actividades (lo que implica un análisis de beneficio-costos, mediante métricas como la pérdida máxima probable, para la toma de decisiones).

**Tabla 2.3. Objetivos de comportamiento sísmico de las normas de edificios (IBC 2000)**

Nivel de Diseño Sísmico	Comportamiento Requerido			
	Operación Permanente	Ocupación Inmediata	Protección de la Vida	Prevención del Colapso
Frecuente (50%/30 años)	◆	Comportamiento Inaceptable (para edificios nuevos)		
Ocasional (50%/50 años)	■			
Raro (10%/50 años)	●	■	◆	
Muy raro (10%/100 años)		●	■	◆

- = Seguridad crítica, como hospitales, departamentos de bomberos
- = Instalación esencial o peligrosa, como centrales telefónicas, edificio con químicos tóxicos
- ◆ = Instalación básica o convencional, como edificios de oficinas y de residencias

En adición a la exigencia de seguridad (intensidad sísmica de diseño) que actualmente hace en muchos casos inviables las intervenciones, el procedimiento de evaluación que prescriben las normas castiga de tal forma la capacidad de la estructura existente que incluso un edificio construido con la norma, una vez terminado, paradójicamente si se evalúa, sería “vulnerable” a la luz de la misma norma y tendría que ser reforzado. Por obvias razones, entonces, en otros casos de edificaciones construidas hace varios años, su evaluación y el nivel de seguridad que se le debe proveer, establecido por la legislación actual, se vuelve un obstáculo para mejorar su seguridad a un nivel que bien podría, en algunos casos, ser aceptable si se replantean una serie de niveles de seguridad (que bien pueden ser expresados en demandas sísmicas de diferentes períodos de retorno, o sus pérdidas asociadas) según el uso de la edificación. Aún más, no sólo para el caso de la vulnerabilidad sino incluso para el diseño sismorresistente en general es válida la reflexión que aquí se hace, pues no solamente los edificios existentes sino también los edificios nuevos se podrían diseñar para diferentes exigencias (períodos de retorno o tasas de excedencia sísmica, o de daño, que sería lo más apropiado) según sea su uso (manteniendo unos mínimos) y hasta incluso dependiendo de la zona del país en la cual están o se van a proyectar los edificios. Aunque parezca lejano aún el diseño basado en el riesgo (es decir basado en las implicaciones económicas y sociales) es algo hacia lo cual se debería propender.

En general, las normas se basan en estudios e investigaciones acerca del comportamiento estructural realizadas en laboratorios de estructuras, mediante modelizaciones y simulaciones analíticas y con base en la observación de los daños que se han presentado en edificios exigidos o afectados por terremotos de diferentes características e intensidades en todo el mundo. La manera como se deben hacer los proyectos estructurales de edificaciones nuevas y las evaluaciones de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes se basan en recomendaciones del estado del arte, entendiendo que la ingeniería estructural es una ciencia aplicada –no exacta– que se basa en una serie de supuestos o hipótesis de respuesta estructural y de los materiales que se espera que se cumplan en la mayoría de las ocasiones ante fuerzas extremas

cuando se presente un sismo importante. Los requisitos de las normas y códigos de construcción se basan en supuestos conservadores o cautelosos, involucran factores de seguridad definidos con prudencia y, en el mejor de los casos, siguen planteamientos de confiabilidad estructural que tienen en cuenta estadísticas y modelos analíticos probabilistas cuyo objetivo es cubrir con suficiente certeza las imprecisiones y las incertidumbres asociadas o relativas a la demanda –cargas y fuerzas que actúan sobre la estructura– como a la estabilidad, la resistencia o la capacidad de disipación de energía de la estructura en casos tan extremos como los que exige un movimiento sísmico severo (Barreiro 2006).

Pero ¿cuánta seguridad es una seguridad suficiente? Es una pregunta cuya respuesta puede cambiar de un país o de un sitio a otro, a través de los códigos o normas de construcción y de seguridad. El concepto de riesgo o de seguridad está asociado con hacer o dejar de hacer algo; es decir, está asociado a decisión y, por lo tanto, la noción de riesgo es al mismo tiempo descriptiva y normativa. Su definición involucra tres elementos: consecuencias indeseables, posibilidad de ocurrencia y un estado de realidad. Riesgo significa la posibilidad de que un estado de realidad indeseable se presente –por ejemplo, el colapso estructural, la pérdida de vidas, la pérdida de funcionalidad u operación– y la relación entre riesgo y seguridad involucra la idea de una amenaza, que en el caso de la ingeniería sísmica estructural es un terremoto con cierto nivel de severidad. Pero ¿qué es un terremoto intenso o severo? frente al cual una estructura debe tener un comportamiento apropiado para que no se presenten ciertas consecuencias. Para esto es necesario definir un “umbral” o un referente que sin duda podría variar, como se dijo, de un sitio a otro en un país, de una sociedad a otra, de un gobierno a otro.

Medir el riesgo o la vulnerabilidad de una estructura implica, por lo tanto, definir unos procedimientos para hacerlo y un referente o límite para el cual se considere que el nivel de riesgo o de vulnerabilidad es “tolerable” o “aceptable”, pues lo que no es vulnerable frente a un sismo, por ejemplo, considerado como fuerte, lo podría ser frente a un sismo considerado como muy fuerte dentro de la historia sísmica de una región. El primero podría valorarse como un suceso “raro” por su baja probabilidad de ocurrencia y el segundo podría considerarse como “increíble” o muy raro, por lo cual parecería innecesario proyectar o evaluar la estructura dado que resultaría excesivamente costoso hacer que cumpla los requisitos de seguridad o de confiabilidad estructural. Por lo tanto, es necesario señalar que en rigor no existen estructuras invulnerables y que, en contraste, cuando se afirma que una estructura es vulnerable, es una valoración normativa, y que no significa que dicha estructura no pueda soportar sismos con intensidades menores al sismo que se utilizó como umbral en la norma para valorar si la estructura es competente o no.

En la mayoría de los códigos de construcción sismorresistente, se ha usado para fines de diseño un período de retorno de 475 años; el cual se encuentra asociado a una probabilidad de excedencia de 10% en una vida útil para estructuras civiles de 50 años. No existen bases para afirmar que dicho período de retorno es el apropiado; de hecho este período de retorno fue tomado directamente de estudios norteamericanos para el área de California que no reflejan la realidad sismotectónica de otros países; por ejemplo, diseñar para un periodo de retorno de 475 años en México conllevaría a estructuras muy costosas, por ello en México se usan demandas sísmicas diferentes:

200, 250, 300 de acuerdo al sitio y a las estructuras, ya que para este caso los espectros requieren condiciones de resistencia y rigidez factibles para la sociedad (Gallego 2001).

Para efectos de analizar el riesgo y expresarlo en términos de costo existen dos criterios: Estándares de construcción menos rigurosos producen costos bajos de construcción y más alto daño sísmico potencial; estándares más exigentes reducen los costos de eventuales terremotos y de víctimas, pero a un mayor costo de construcción. El nivel de riesgo óptimo por costos es aquel que conduce a los costos totales más bajos, sin embargo si no se trata del caso óptimo las normas pueden facilitar definir unos niveles de seguridad que se pueden expresar y declarar en términos de deficiencias relativas de una estructura (en la oficina de registro de documentos públicos, por ejemplo) lo que seguramente tendría influencia en el uso y en el valor del edificio, pero le permitiría a los interesados saber su riesgo. En Colombia las más recientes normas sismorresistentes (NSR-10) han adoptado un sismo de seguridad limitada, que corresponde a 225 años de período de retorno (20% de probabilidad de excedencia en 50 años), para facilitar intervenciones de vulnerabilidad menos exigentes, siempre y cuando se firme un memorial entre el propietario y el proyectista estructural (AIS 2010).

Las normas deben ser cada vez más sencillas pero en forma simultánea deben ser más confiables. Para eso se requiere del concurso de especialistas con gran experticia y experiencia. Lo ideal es que las decisiones de riesgo sean totalmente transparentes e involucren de manera responsable a todos los actores: ocupantes (protección de la vida, heridas, trauma, etc.), propietarios (inversiones, reparaciones, etc.), negocios (interrupción, funcionalidad, impacto económico, etc.), prestamistas y aseguradores (insolvencia financiera) y gobierno (salud pública, prevención de desastres, manejo de emergencias, interrupción del comercio, costos de reconstrucción, impuestos, sostenibilidad fiscal, etc.). Además, es deseable disponer de relaciones de beneficio-costos que ilustren la suma de los costos directos de la construcción (el pague ahora) y las pérdidas esperadas debido a la amenaza sísmica (el pague después). Esto ayudaría a justificar mejor el beneficio de reforzar estructuras existentes e incluso optimizar y calibrar los requisitos para las nuevas edificaciones (Cardona 2003).

## Capítulo 3.

### **EVALUACIÓN DEL RIESGO SOBERANO**

Los Gobiernos enfrentan niveles de riesgo altos, especialmente en los últimos tiempos dados el creciente volumen e inestabilidad de flujos de capital privado, las garantías a servicios y proyectos y el oportunismo fiscal. Usualmente, en la evaluación del riesgo soberano se consideran únicamente los pasivos directos o responsabilidades tradicionales como la deuda, cuentas por pagar y pensiones, y no se incluyen en las cuentas fiscales otras fuentes de riesgo como los pasivos contingentes, que dependen de la ocurrencia de algún evento específico, ya sea por la dificultad de evaluación o porque su efecto fiscal solo se ve reflejado en el momento en que el evento contingente se materializa. En la evaluación del riesgo fiscal, si no se incluyen todas las obligaciones del Estado, no es posible conocer la situación financiera real del país. El reconocimiento de todas las fuentes que contribuyen a la deuda permite una responsabilidad y sostenibilidad fiscal.

En general, la deuda del gobierno se puede dividir en responsabilidades de tipo directas, explícitas, directas implícitas, contingentes explícitos y contingentes implícitos (Figura 3.1) (Polackova 1999; Pérez *et al.* 2004):

- Pasivos directos explícitos: Se definen como los pasivos específicos del Estado establecidos por ley o contrato que se tienen que pagar con certeza, por lo tanto se consideran en los balances presupuestales. Pertenecen a este tipo de pasivo el pago de la deuda soberana externa e interna, y gastos como sueldos, pensiones y seguridad social de los funcionarios públicos.
- Pasivos directos implícitos: Representan una obligación moral para el gobierno que ocurrirá con certeza. Al no ser una obligación legal, no se incluye en el presupuesto. Como ejemplo de este tipo de pasivos se encuentran las pensiones de los fondos privados, las obligaciones contraídas de seguro social con los afiliados de las empresas privadas y las obligaciones con los trabajadores del sector público afiliado a una dispersa red pública y los fondos de pensiones de carácter público.
- Pasivos contingentes explícitos: Corresponden a una obligación legal que el gobierno debe pagar si un suceso en particular ocurre. Es decir, deudas y obligaciones contraídas por los niveles subnacionales o entidades del sector público y privado y garantías estatales a inversionistas privados. Seguros del gobierno.
- Pasivos contingentes implícitos: Es una obligación moral del gobierno y no está establecida legalmente. Sólo se reconocen una vez se ha presentado el problema



y existe una incertidumbre muy alta en la estimación del valor en riesgo y la cantidad presupuestal que se podría requerir en el momento de ocurrir un evento poco probable. Dentro de este tipo se encuentran las crisis financieras y humanitarias por emergencias, el desplome del sector bancario, los proyectos de infraestructura que presentan problemas de liquidez o cuando niveles del gobierno no pueden cumplir sus obligaciones.

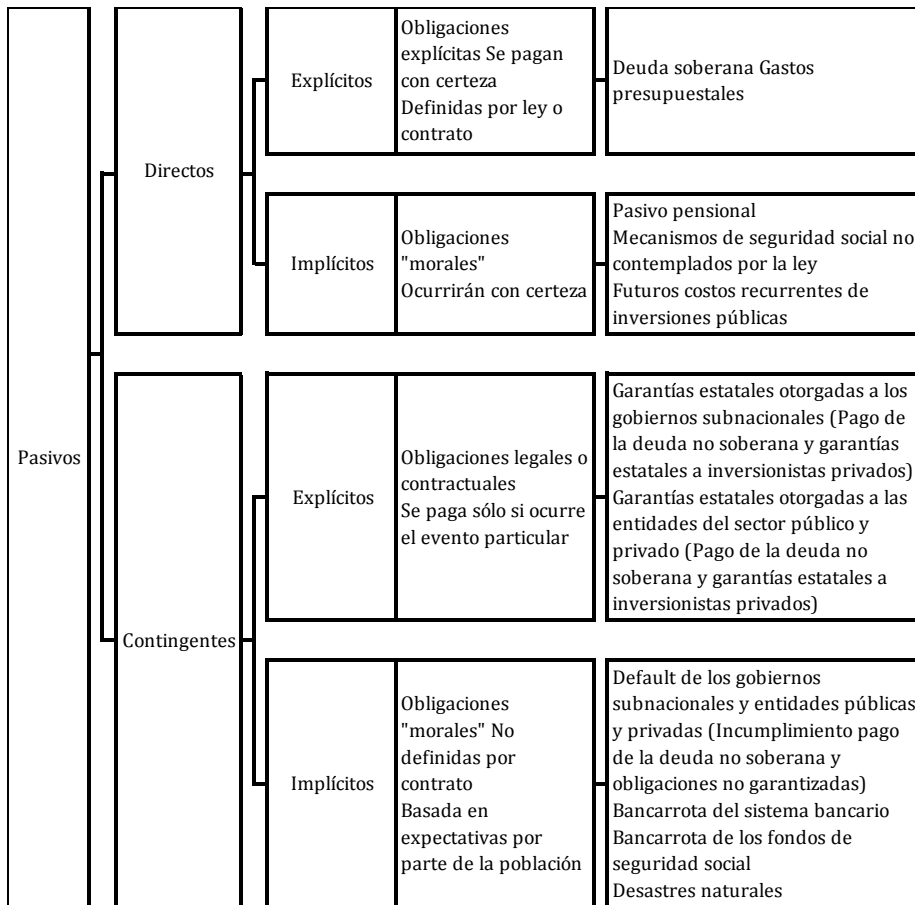


Figura 3.1. Riesgo fiscal basado en Polackova 1999

De manera cada vez más frecuente, las leyes de contabilidad nacional obligan a recoger pasivos contingentes a través de provisiones denominadas provisiones por riesgos y gastos. Esto se hace por el principio de prudencia, tratando de que los libros contables reflejen los riesgos que una empresa está asumiendo. En la Tabla 3.1. se presentan algunas regulaciones y publicaciones relacionadas con los pasivos contingentes en diferentes países.

Aunque la integración de los pasivos contingentes debido a eventos naturales adversos todavía no ha sido legislada en ningún país, una intensa reflexión está en curso sobre el tema. Sin embargo, desde el punto de vista de los Estados, los desastres naturales son obligaciones futuras cuya existencia depende de un suceso futuro. Utilizando un modelo probabilista se puede evaluar la magnitud y la tasa de ocurrencia de pérdidas explícitas e implícitas, lo que debería permitir una integración de los eventos naturales adversos en los cálculos de provisión fiscal. Por pérdidas explícitas se entienden las pérdidas vinculadas con la obligación legal del Estado como los daños a la propiedad pública. Las pérdidas implícitas incluyen pérdidas que resultan de las obligaciones indirectas como por ejemplo las compensaciones a poblaciones afectadas después de un evento, aunque esta compensación no esté necesariamente establecida legalmente.

**Tabla 3.1.** Ejemplos de regulaciones y publicaciones relacionados con los pasivos contingentes en diferentes países Fuente: Ministerio de Hacienda y Crédito Público, MHCP, 2011

País	Descripción
Australia	Dentro del informe de desempeño y presupuesto fiscal se incluye un capítulo de riesgos fiscales y responsabilidades contingentes y publica los compromisos del gobierno adquiridos y las negociaciones presentes. También incluye un informe de sostenibilidad fiscal intergeneracional para los próximos 40 años
Brasil	Incluye dentro de la ley de presupuestos anual un anexo de la estimación de las responsabilidades contingentes y riesgos fiscales
Canadá	Informe financiero que debe incluir las obligaciones contingentes del país. Igualmente los departamentos deben mantener un informe claro de sus activos, responsabilidades y obligaciones contingentes.
Chile	Un reporte anual de la naturaleza y cantidad de los pasivos contingentes que resultan de las garantías del gobierno, incluyendo garantía y beneficiarios y la estimación de las obligaciones financieras resultantes de contratos o legislación como seguridad e infraestructura y mínima pensión garantizada.
Colombia	Ley de responsabilidad fiscal, ley de saneamiento fiscal, normas de control de endeudamiento, modelización de riesgos y técnicas de defensa y conciliación en procesos litigiosos
Ecuador	La ley Orgánica de Responsabilidad y Estabilización y Transparencia Fiscal de 2002 establece que el cálculo debe incluir todos los pasivos contingentes que puedan afectar las cuentas fiscales.
Francia	El marco presupuestal requerido para reportar las obligaciones del gobierno cuando se encuentran fuera del balance.
Nueva Zelanda	Los informes fiscales se presentan con el presupuesto, deben incluir una lista de compromisos gubernamentales que podría aumentar los gastos en el futuro, una lista de las obligaciones contingentes y un informe sobre la sensibilidad de los agregados fiscales que cambian las condiciones de la economía.
Nigeria	La ley exige que el presupuesto contenga un apéndice de los riesgos de impuestos y las medidas adoptadas para manejarlos.
Pakistán	Un informe de la deuda incluyendo la información de las garantías concedidas es presentado anualmente en la Asamblea Nacional
Perú	El marco fiscal de término medio incluye la publicación de las garantías del gobierno y una relación del servicio de la deuda para el término medio
Reino Unido	Es obligatorio incluir en las proyecciones fiscales un análisis de los riesgos fiscales y obligaciones contingentes.

El marco analítico adecuado para evaluar las implicaciones financieras y presupuestales de los pasivos contingentes es el de la sostenibilidad fiscal. El ejercicio requiere estimar el resultado más probable para un horizonte finito de tiempo y posteriormente incorporar los flujos anualizados al déficit primario requerido para mantener la deuda bruta “explícita” en su senda estable. La razón de que el pasivo contingente se separe de la deuda explícita reside en que el primero no depende de la trayectoria de la tasa de interés ni de la tasa de crecimiento. Se puede determinar el déficit primario anual compatible con una trayectoria de la deuda pública consistente con la restricción presupuestal de largo plazo. Para ello se requiere definir un nivel de deuda sostenible, un horizonte de tiempo y las trayectorias de la tasa de interés real y de crecimiento. A partir de la restricción presupuestal del gobierno, se puede derivar una expresión formal que permite relacionar los flujos de ingresos y gastos y los stock de deuda como proporción del PIB, de tal manera que es posible determinar la evolución de la deuda pública, asumiendo como dadas la tasa de interés real, la tasa de crecimiento del PIB real y los superávit primarios. Se dice por lo tanto que existe “sostenibilidad fiscal” cuando el saldo actual de la deuda explícita más la deuda o los pasivos contingentes del gobierno es igual al valor presente descontado de los superávit primarios futuros. La importancia de analizar los pasivos contingentes, incluidos los que se pueden presentar por desastres, radica en que aun cuando dichos pasivos contingentes no son parte de la deuda contraída explícitamente, pueden potencialmente incrementar el valor de la deuda en forma significativa en el futuro, con el consecuente impacto sobre el desempeño fiscal. Así se muestra con claridad el esfuerzo en términos de recursos que tiene que hacer el gobierno para mantener la sostenibilidad de las finanzas públicas y evitar la “vulnerabilidad fiscal”, sin tener que hacer cambios bruscos en la trayectoria de los gastos, acudir a la emisión monetaria o al default de deuda (Marulanda *et al.* 2008a; Cardona 2009; Cardona *et al.* 2010a)

### 3.1. Los pasivos contingentes en el análisis macroeconómico

La ocurrencia de eventos inciertos o contingentes puede desviar el logro de objetivos y reducir la eficacia de los recursos de un país, por esta razón es importante llevar a cabo un análisis fiscal que permita reconocer este tipo de situaciones y de esta forma justificar el establecimiento o mejoramiento de políticas públicas para aumentar la eficacia de los recursos públicos (Roa 2010).

Para poder realizar un análisis fiscal de una economía frente a las conmociones internas y externas, es necesario contar con información acerca de la deuda total y de los pasivos contingentes que pueden afectar seriamente la situación financiera de un país. Cuando estos pasivos contingentes no se valoran, las autoridades financieras de un país desconocen el riesgo no explícito que éstos representan para la economía y no se tiene certeza del impacto real que pueden tener sobre el balance presupuestal de la nación.

Un pasivo contingente se transforma en pasivo cierto cuando un evento garantizado se produce; por ejemplo, cuando personal garantizado por el Estado se jubila y los fondos existentes son insuficientes o cuando se liquida un contrato y los

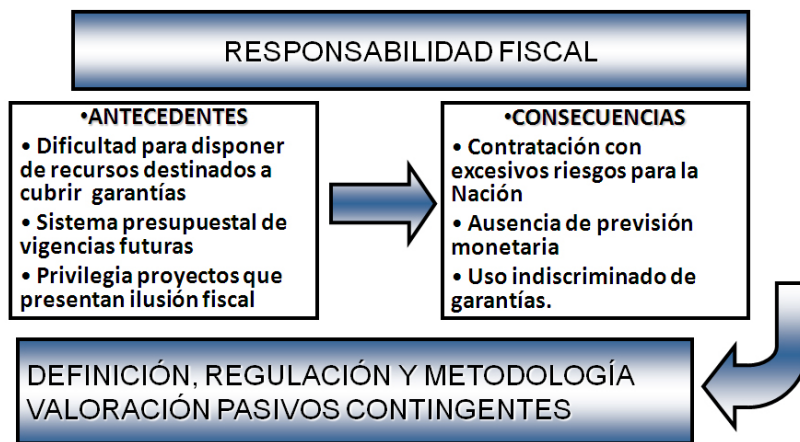
resultados se encuentran por debajo de los mínimos respaldados. En otras palabras un pasivo deja de ser contingente y se convierte en cierto cuando no se dan los valores esperados o pactados o porque existen garantías bien definidas o cuando se materializa el riesgo o es necesario cubrir diferencias. En cualquier caso es indispensable asignar recursos del presupuesto para cubrir lo causado. Esos recursos son nuevos y deben financiarse como los demás rubros de gasto público, de tal manera que para cubrir la nueva necesidad hay que sacrificar otros destinos o encontrar fuentes alternas de financiamiento vía reformas pensionales y tributarias o mediante empréstitos.

Aunque los pasivos contingentes no son parte de la deuda contraída explícitamente, pueden potencialmente incrementar el valor de la deuda en forma significativa en el futuro, con el consecuente impacto sobre el desempeño fiscal del país. Los organismos multilaterales y privados que se encargan de evaluar los riesgos crediticios y la solidez de las finanzas públicas de los países están cada vez más interesados en incorporar en sus análisis los pasivos contingentes de las entidades públicas. De hecho, un diagnóstico de la situación fiscal de un país queda a medias o incompleta si no se cuenta con información confiable sobre la valoración de las obligaciones contingentes asumidas por las entidades gubernamentales. En este sentido, entidades como el Fondo Monetario Internacional (Veloso 2008) han propuesto cambios metodológicos y contables con miras a introducir una mayor transparencia en los balances financieros y en los presupuestos públicos, con el fin de hacer explícitas las demandas de recursos que exigen los compromisos adquiridos por el Estado. Es importante introducir la previsión de ingresos y gastos para un periodo determinado para reflejar la política fiscal y su eficiencia en el manejo de los recursos maximizando sus resultados (Roa 2010). En este sentido se puede decir que “un buen sistema institucional exige que el gobierno considere todo programa no monetario que implique un riesgo fiscal contingente como una partida presupuestaria o de deuda. Más importante aún, el sistema debe permitir que se prevea el costo fiscal potencial de los programas extrapresupuestarios. Los sistemas presupuestarios y contables basados en valores devengados fomentan la disciplina fiscal, pero no son enteramente suficientes ni necesarios. Las reglas correspondientes a las garantías y los programas de seguros del Estado, así como la conducta de las entidades garantizadas por el Estado, las entidades públicas y las administraciones provinciales son de importancia crítica” (Polackova 1999).

### **3.2. Sostenibilidad y vulnerabilidad fiscal**

La sostenibilidad fiscal se define a partir de la capacidad que tiene el gobierno de restablecer el equilibrio fiscal y mantener el balance presupuestal ante choques inesperados. Cuando las responsabilidades implícitas son cuantiosas y no se tienen en cuenta en los presupuestos se pueden presentar importantes aumentos en la deuda pública lo que puede generar la vulnerabilidad fiscal (Figura 3.2). Las obligaciones implícitas son mayores cuando se presentan deficiencias en el modelo macroeconómico, en el sector financiero, en los sistemas regulatorios y de supervisión y en las prácticas de difusión de información (Polackova 1999). En consecuencia, el marco analítico adecuado

para evaluar las implicaciones financieras y presupuestales de los pasivos contingentes es sin duda el de la sostenibilidad fiscal.



*Figura 3.2. Justificación de la valoración de las obligaciones contingentes*

Un análisis de la sostenibilidad fiscal, en general, implica realizar estimaciones del valor de los compromisos tomando en cuenta todos los factores sociales, económicos, políticos, geográficos, demográficos y naturales que desencadenen el evento que haga efectiva la contingencia. El ejercicio requiere estimar el resultado más probable para un horizonte finito de tiempo y posteriormente incorporar los flujos anualizados al déficit primario requerido para mantener la deuda bruta “explícita” en su senda estable. La razón de que el pasivo contingente se separe de la deuda explícita reside en que el primero no depende de la trayectoria de la tasa de interés ni de la tasa de crecimiento.

Un ejercicio interesante que se puede realizar consiste en determinar el déficit primario anual compatible con una trayectoria de la deuda pública consistente con la restricción presupuestal de largo plazo. Para ello se requiere definir un nivel de deuda sostenible, un horizonte de tiempo y las trayectorias de la tasa de interés real y de crecimiento. A partir de la restricción presupuestal del gobierno, se puede derivar una expresión formal que permite relacionar los flujos de ingresos y gastos y los stock de deuda como proporción del PIB, de tal manera que es posible determinar la evolución de la deuda pública, asumiendo como dadas la tasa de interés real, la tasa de crecimiento del PIB real y los superávit primarios. De la misma manera, es fácil derivar otra relación que permite encontrar el superávit primario necesario para garantizar una trayectoria de la deuda pública compatible con la condición de sostenibilidad. La ecuación que permite determinar el déficit primario es la siguiente:

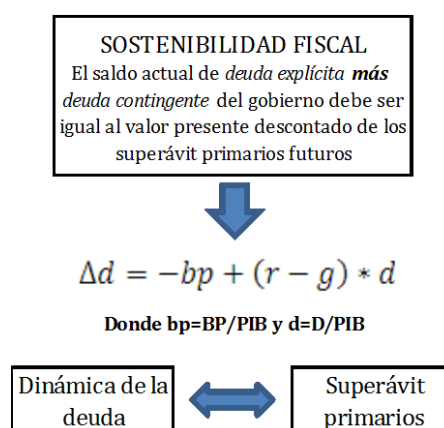
$$(g - t) = (b_T - b_0 e^{(r-\dot{Q})T}) \frac{(r - \dot{Q})}{e^{(r-\dot{Q})T} - 1} \quad (3.1)$$

donde,  $g$  es la relación del gasto sobre el PIB,  $t$  es la relación de los ingresos sobre el PIB,  $Q$  es la tasa de crecimiento del PIB real,  $r$  es la tasa de interés real,  $b_0$  es el saldo de la deuda como proporción del PIB en el año respectivo,  $b_T$  es el saldo de la deuda en el año  $T$ .

En forma alternativa el requerimiento de déficit primario futuro también se puede expresar de acuerdo con la ecuación 3.2, así

$$\Delta d = -bp + (r - g) * d \quad (3.2)$$

En esta expresión el término a la izquierda corresponde a la deuda explícita más los pasivos contingentes en términos del PIB. El término  $-bp$  corresponde al balance primario en términos del PIB,  $r$  es la tasa ponderada de interés que refleja el costo de la deuda,  $g$  la tasa de crecimiento del PIB y  $d$  es la deuda en términos del PIB. La situación fiscal más crítica se da cuando la diferencia entre la tasa de interés y la tasa de crecimiento ( $r-g$ ) es positiva, entonces es necesario tener superávit primarios. La Figura 3.3 presenta un esquema que ilustra el marco analítico de la sostenibilidad.



**Figura 3.3.** Cumplimiento de la restricción inter-temporal del gobierno que asegura la solvencia y la sostenibilidad

Es importante anotar que los resultados son muy sensibles a los supuestos que se realicen sobre el crecimiento económico y las tasas de interés. Clavijo (2004) realizó para Colombia varias simulaciones. Al final, eligió el más cercano a las condiciones reales del país: una tasa de interés real de 7% y una tasa de crecimiento del PIB de 2%. Con estos supuestos se encuentra que el déficit primario requerido para mantener constantes los pasivos explícitos es de 3% del PIB, a este valor se le debe agregar el 1.3% del PIB correspondiente a los flujos de caja originados por los pasivos contingentes.

El monto de recursos sostenible por superávit intertemporal, podría ser un ahorro que el gobierno puede destinar, calculado a varios años, para atender de la mejor manera los efectos de los desastres. Si las trayectorias de flujos de gastos e

ingresos garantizan –en términos de valor presente– que los superávits primarios corrientes y futuros permiten cancelar el *stock* de deuda actual, cumpliendo con la restricción intertemporal de las finanzas públicas, dentro de los límites que tiene el gobierno, se puede determinar la capacidad financiera (monto anual de recursos sostenible) que tiene para enfrentar los desastres. En caso de que anualmente la pérdida supere el monto de recursos disponible por superávit se prevé que con el tiempo habría un déficit por desastres que implicaría el inevitable aumento de la deuda. Es decir, que el país no cuenta con suficientes recursos (calculados en forma intertemporal) para atender sus futuros desastres. Ahora bien, en caso de existir restricciones para el endeudamiento adicional esta situación implicaría la imposibilidad de recuperarse. En general, si el superávit intertemporal es negativo el pago anual de los desastres sencillamente aumentaría el déficit ya existente. En el Anexo B se describe la forma como se podría estimar este gasto intertemporal para desastres.

### 3.3. Los desastres como pasivos contingentes

Los desastres pueden generar desequilibrios macroeconómicos o, en cualquier caso, pueden generar un fuerte impacto a las finanzas del Estado a causa de las garantías implícitas que se incorporan en los cálculos de los agentes privados (afectados directos), lo cual se asocia con los problemas inherentes al funcionamiento de los mercados de seguros (insolvencia), a la inconsistencia temporal de las políticas públicas (la ausencia de protección) y al llamado dilema del Samaritano (apoyo a los más desfavorecidos)<sup>1</sup> (Marulanda *et al.* 2008a; Cardona 2009). En otras palabras, sin duda, los desastres son una deuda pública incierta, pues no se tiene total certeza de su ocurrencia en el tiempo ni su monto de exigencia, que es fácil demostrar y por lo tanto reconocer que pueden ser una carga fiscal exigible en un momento dado. Por esta razón aquí se plantea, que al igual que otras obligaciones del Estado, como ya se explicó, que deben ser consideradas en la sostenibilidad fiscal, la probabilidad de desastres representa un pasivo contingente que se convierte en pasivo cierto cuando se produce el suceso. En consecuencia, en la medida que existe cada vez mayor conciencia de la importancia que tiene para los gobiernos y los bancos centrales evaluar la situación macroeconómica y la sostenibilidad de las políticas económicas y fiscales de las naciones, debe volverse común que se incluyan también como pasivos contingentes implícitos los futuros desastres. Esto exige estimar dichos pasivos contingentes, lo que implica utilizar modelos probabilistas de riesgo, suficientemente robustos, para determinar el riesgo soberano que significan los futuros desastres y definir una estrategia financiera para poder enfrentarlos.

En este orden de ideas, un principio de transparencia fiscal sería hacer explícitas en las cuentas de balance y en los presupuestos públicos el valor de las obligaciones contingentes que podrían generarse por la ocurrencia de los desastres. De lo aquí

---

<sup>1</sup> Si las personas están seguras que contarán con transferencias, subsidios o caridad privada en el evento que sufran grandes pérdidas como resultado de un desastre o un *shock* negativo, ellos preferirán reducir el nivel óptimo de gastos en aseguramiento, obligando al Estado a asumir dichas pérdidas.

descrito se deriva que es importante identificarlas y conocerlas: sin embargo, como lo reconocieron muchos especialistas, en el curso de esta investigación, esto raramente se hace o simplemente nunca se ha hecho, incluso en los países desarrollados, ya sea por falta de consciencia del problema, por carecer de información o por no contar con métodos robustos para valorar las pérdidas. Una primera aproximación al respecto la hizo Freeman *et al.* (2003) al señalar “una simple declaración de la máxima pérdida como un ítem del memorando –la aproximación algunas veces adoptada para otras obligaciones contingentes– junto con un informe sobre la verosimilitud de la ocurrencia, podría claramente ser informativo para la evaluación de la sostenibilidad fiscal de un gobierno”. Es decir que el pasivo contingente por desastre para un gobierno nacional podría estimarse mediante el cálculo de la Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss, PML) definido para un determinado período de retorno (50, 100 ó 500 años).

Utilizando modelos probabilistas se puede evaluar el riesgo, o sea el potencial de pérdidas, sobre los portafolios de responsabilidad del Estado (i.e. los que tendría la obligación de reconstruir o compensar) y estimar la curva de excedencia de pérdidas para diferentes tasas anuales de ocurrencia (o sus equivalentes períodos de retorno). Este tipo de evaluación implicaría, por una parte, definir, con precisión cuál es la exposición de la que se es responsable y, por otra parte, determinar frente a qué período de retorno se consideraría razonable estimar la pérdida máxima probable. Al respecto no hay estándares que señalen cuál es la responsabilidad del Estado, lo que depende en parte de preceptos constitucionales, ni cuál debería ser la pérdida que se utilizaría como referente legal o normativo (riesgo aceptable) para establecer una estrategia financiera por parte de un Ministerio de Hacienda. En el curso de esta investigación se logró que las autoridades económicas de Colombia aceptaran formalmente que los desastres son pasivos contingentes y se logró que se estableciera en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 la exigencia de realizar una estrategia financiera para enfrentar los futuros desastres. Sin embargo, no se definió un referente de manera explícita. Este es sin duda el primer avance que se ha tenido al respecto que se espera sea un ejemplo a seguir por los demás países (MHCP 2012).

En conclusión, la construcción de un modelo financiero que permita definir las estrategias óptimas a seguir para manejar y gestionar el riesgo de desastres exige tener información sobre las pérdidas probables de este tipo de eventos. Dichas simulaciones provienen de los modelos de catástrofe que no son fácilmente disponibles o que se consideren robustos. Son modelos diseñados por los ingenieros y especialistas en ciencias de la tierra que nunca han tenido en mente establecer los pasivos contingentes de una nación. La Pérdida Máxima Probable (PMP) es una medida del riesgo correspondiente a la mayor pérdida que, por ejemplo, el gobierno puede experimentar a partir de los cálculos del modelo de catástrofe. En general, la PMP, como ya se dijo, se estima para un período de retorno dado. Por ejemplo, una PMP de 100 millones de dólares para un período de retorno de 500 años, implica que las pérdidas por encima de este valor tienen una probabilidad de 0.2% de ocurrir en cualquier año dado. De la misma manera con la curva de probabilidad de excedencia se puede determinar la probabilidad para un valor dado de pérdidas monetarias. Una vez estimada la curva de probabilidad de excedencia, los riesgos se hacen explícitos (calculados). Si el cálculo es en general de las pérdidas totales para el país, lo que incluye al sector privado, las



autoridades gubernamentales podrían establecer que parte de estas pérdidas probables son de su responsabilidad, de acuerdo a los mandatos constitucionales y a los programas de gobierno. Posteriormente, se necesitaría determinar que parte de ese riesgo puede retener y que parte transferir a otros agentes, ya sea al gobierno nacional, las aseguradoras y los mercados de capitales.

Supongamos un ejemplo hipotético en el cual el modelo de simulación de eventos catastróficos arroja una curva de probabilidad de excedencia de pérdidas como la que ilustra en la Figura 3.4.

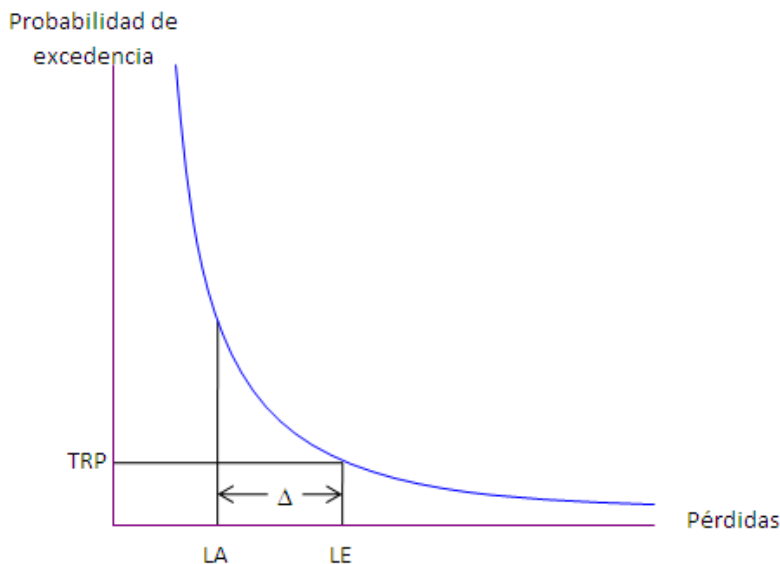


Figura 3.4. Curva de probabilidad de excedencia de pérdidas

Las autoridades definen una probabilidad de crisis fiscal utilizando una tasa de recurrencia de pérdidas (TRP) específica; es decir, la probabilidad de que las pérdidas sociales de responsabilidad, por ejemplo, de un gobierno subnacional excedan un valor de  $LE$ . En ese caso, los costos del suceso, por ejemplo un terremoto, podrían implicar una demanda gigantesca de recursos públicos que dejarían a la administración local o subnacional en una situación financiera crítica, obligando a las autoridades a interrumpir los pagos de sus pasivos y a reasignar los recursos para atender el desastre. Adicionalmente, los ingresos por concepto de impuestos podrían reducirse considerablemente si el desastre destruye buena parte del capital de las empresas y las construcciones de los hogares. Al presentarse esta situación, el gobierno nacional tiene que intervenir y cubrir un porcentaje o la totalidad de las pérdidas y apoyar la recuperación del área afectada. Es decir, el pasivo contingente se convertiría en un pasivo cierto y se tendrían que tener recursos para cubrirlo. De allí que no sea conveniente para las autoridades tanto del nivel nacional como del nivel subnacional retener todo el riesgo, y asumir todas las pérdidas, y lo que sería aconsejable sería la transferencia de al menos parte del riesgo a los mercados de capitales o a las compañías

de seguros. En la Figura 3.4 se muestra que si cubren  $\Delta$  millones de pérdidas con los mecanismos del mercado de capitales o de seguros, el gobierno nacional y subnacional deberían asumir únicamente  $LA$  millones de las pérdidas totales. En el Capítulo 8 se presenta una descripción del Índice de Déficit por Desastre (IDD) que se ha aplicado a la mayoría de los países de las Américas y que se ha utilizado como un indicador de vulnerabilidad fiscal que se deriva de desastres extremos factibles para un país. Esta manera de comunicar el riesgo a las autoridades macroeconómicas justamente se formuló con el fin de dar cuenta de que los desastres deben ser considerados como pasivos contingentes, como se argumenta en esta investigación.

### 3.4. Curvas de excedencia y períodos de retorno

No se puede administrar lo que no se puede dimensionar y para decidir es fundamental medir. Son frases que viene bien tener en cuenta cuando se habla de gestión del riesgo de desastres. Es por esto que se puede afirmar que es necesario tener una noción cuantitativa del riesgo de desastre para efectos de dimensionar, en algunos casos revelar, hacer manifiesto o intentar reconocer un problema del cual puede no tenerse una verdadera dimensión. Se busca, de ser posible, preocupar a alguien e identificar enfoques de intervención razonables, pues la manera de enfrentar el riesgo varía según el nivel de riesgo que supuestamente existe (estratificación del riesgo frente a la cual existen formas alternativas de responder).

Existe una diferencia entre probabilidad (entendida como frecuencia) y expectativa o esperanza matemática (en términos de posibilidad). Una cosa es la frecuencia de eventos (tasa de ocurrencia) otra es la posibilidad de consecuencias (potencial de pérdida). Las consecuencias esperadas se obtienen de la frecuencia y la severidad y hay que expresar dicha expectativa en una ventana de tiempo para poder tener un referente relevante de comparación. De aquí se deriva la necesidad de ver las consecuencias y no los eventos en términos de un período de retorno (inverso de la frecuencia anual) o en lapsos que se pueden utilizar como un referente y que uno puede denominar el tiempo de exposición.

De lo anterior se deriva que se puede responder a la pregunta de cuánto puede ser la expectativa o probabilidad de excedencia de un cierto nivel de consecuencias en un lapso definido: por ejemplo, una probabilidad de excedencia de 0.1 (10%) en 50 años, es decir una pérdida con un período de retorno promedio de 500 años; caso en el cual la pregunta es si ese porcentaje en ese tiempo de exposición es mucho o no. No sobra decir que la probabilidad de que la pérdida de los  $X$  años de período de retorno se presente en una ventana de tiempo de  $X$  años es siempre 63% (y no el 100% como uno podría pensar). La probabilidad de que la pérdida máxima en 100 años se presente en 100 años es de 63%, igualmente existe la posibilidad de que se presente 2 o incluso 3 veces el evento de 100 años de período de retorno dentro de un período de 100 años.

Algunos tomadores de decisiones en forma desprevenida piensan que ayudaría recalcular pérdidas que ocurren para eventos de 1 en 10 años o para períodos de retorno más cortos porque políticamente es mucho más fácil persuadir al gobierno que necesita de un plan para mitigar el impacto de eventos peligrosos “que puedan ocurrir

en el periodo de su administración. La mayoría de los gobiernos no se sienten muy preocupados por pérdidas para eventos de 1 en 500 años, o incluso para eventos de 1 en 100 años y 1 en 50 años". Algunos pares piensan que hay evidencia de que la expectativa de la frecuencia de eventos peligrosos y el concepto del periodo de retorno "predecible" están siendo puestos a prueba de manera desafiante por los eventos del diario acontecer. En esencia, algunos creen que en cada país hay muchos eventos, y que es bastante factible que eventos menores sean extremadamente dañinos y así mismo desequilibrantes desde el punto de vista financiero, en particular cuando estos eventos son agregados y su mayor frecuencia se toma en cuenta.

Por otra parte, tomando en cuenta otras experiencias, es ampliamente aceptado que el concepto de periodo de retorno ha resultado ser engañoso. De acuerdo con su definición, el evento que producirá una pérdida con un valor igual o superior a  $L$  ocurrirá en promedio una vez cada  $T$  años. Por ejemplo, si se dice que el periodo de retorno de un evento que produce pérdidas de un millón de dólares es de 100 años, lo que se quiere decir es que, en promedio, se debe esperar un desastre con pérdidas iguales o mayores a un millón de dólares cada 100 años. Como se puede notar en la Figura 3.5, no implica de ninguna manera cuánto tiempo habría que esperar para presenciar el siguiente desastre de este tipo (el tipo de desastre que produce pérdidas por encima de un millón de dólares); sólo se está especificando el promedio de recurrencia.

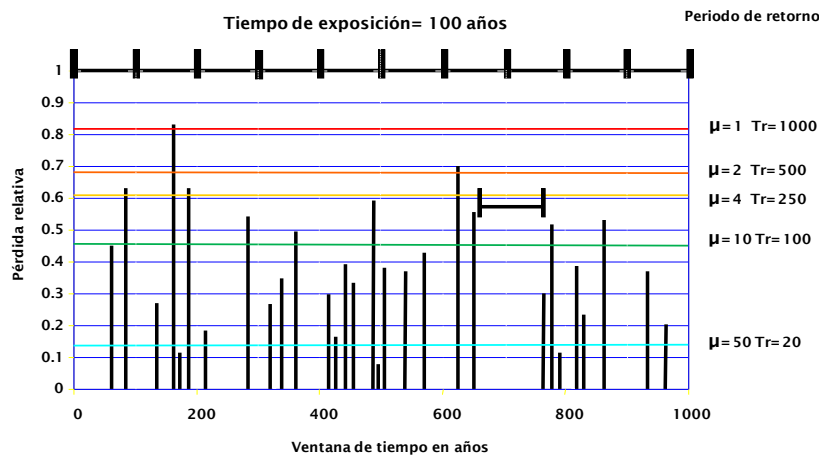


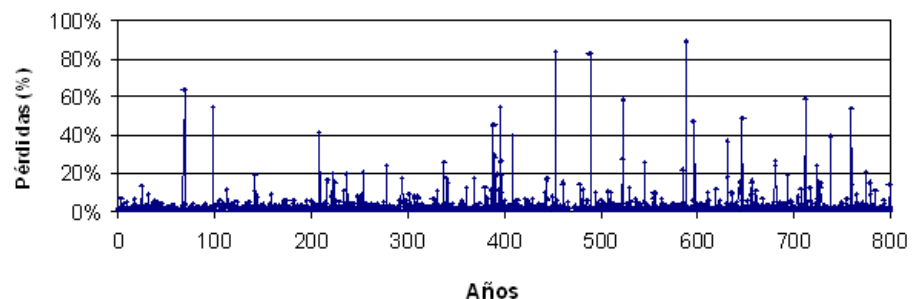
Figura 3.5. Periodo de retorno

De todas formas, tal vez debido a los factores psicológicos relacionados con la percepción del riesgo, las personas parece que creen que si un desastre dado es asociado a un período de retorno  $T_R$ , es casi imposible tener un desastre de esta clase en el siguiente año, o en dos años, o, en general, relativamente cerca en el futuro. El concepto de período de retorno parece implicar la noción de periodicidad, así que las personas actúan como si creyeran que la probabilidad de tener un desastre del tipo examinado crece mientras el tiempo de espera se aproxima al período de retorno. Sin embargo, como se muestra en la Figura 3.5, pérdidas iguales o mayores a un periodo de

retorno definido pueden suceder incluso más de una vez en un tiempo de exposición de 100 años, o podrían no ocurrir en los 100 años de exposición considerados. De hecho, el riesgo parece que se percibe como mayor cuando se expresa en términos de probabilidades de excedencia en espacios de tiempo dados (la “probabilidad de ruina” del análisis clásico probabilista) que cuando se especifica en términos del período de retorno de la “ruina”. En este sentido, es mejor caracterizar los eventos asociados a períodos de retorno de 50, 100 y 500 años (los cuales, todos, para algunos parecen muy lejos en el futuro) con su correspondiente probabilidad de excedencia en un lapso o “ventana” de tiempo dado.

Dicho lo anterior, y pensando que un gobierno tuviera una responsabilidad fiscal (riesgo económico por las consecuencias) de cubrir o pagar la reposición de la infraestructura pública y de los activos de un segmento de la población (de bajos ingresos) es necesario cuantificar el riesgo mediante una curva de excedencia de pérdidas que señale cuál es la frecuencia (por ejemplo, anual) de cada valor (nivel) de las posibles pérdidas para dicho gobierno. Información que además es relevante para poder estimar si es factible lograr un beneficio si se hace una inversión para evitar o reducir que se presenten las pérdidas esperadas (inversión pública).

Considerando el proceso de ocurrencia de los desastres en el tiempo, ilustrado en la Figura 3.6 donde se han graficado las pérdidas directas causadas por desastres en una ciudad, en función del tiempo, para los últimos 800 años, puede notarse que hay muchas pérdidas pequeñas y pocas grandes. Una representación conveniente de los tamaños y frecuencias de ocurrencia de las pérdidas pueden hacerse contando cuantas veces un valor de pérdida dado ha excedido durante los 800 años y luego dividiendo estos números por las observaciones en el tiempo (800 años en este caso). Estas cifras serían entonces el número de eventos por año en el cual un valor de pérdida dado ha sido excedido. Estas cantidades son conocidas como *tasas de excedencia* o *frecuencias de excedencia*.



**Figura 3.6.** Pérdidas históricas hipotéticas en una ciudad. Las pérdidas son expresadas como fracción del valor total expuesto

La curva de excedencia de pérdidas (frecuencia anual con la cual se iguala o supera un nivel de pérdida) usualmente se obtiene en forma analítica haciendo un modelo hipotético acerca de las posibles consecuencias que habría sobre los elementos expuestos de un portafolio –a los cuales se le asigna un nivel (medio) y una variabilidad de vulnerabilidad con criterios técnicos (analíticos, observados y empíricos)

razonables– considerando la ocurrencia estocástica de múltiples eventos de diferentes intensidades que pueden ser factibles, resultado de los patrones de recurrencia observados de la historia o las series de eventos ocurridos (catálogo sísmico, frecuencia de lluvias, trayectorias de huracanes, etc.).

Dicha curva de excedencia de pérdidas (que también se puede expresar como una curva de pérdidas máximas probables con diferentes períodos de retorno) captura o “predice” de manera bastante aceptable o robusta el riesgo catastrófico, haciendo las debidas salvedades acerca de los niveles de incertidumbre epistémica y aleatoria (por falta de información y azar inherente); es decir, la frecuencia anual de pérdidas muy notables resultado de la correlación (simultaneidad de efectos sobre el portafolio) de eventos mayores, que usualmente son de interés para efectos de negociaciones entre tomadores y cedentes del riesgo financiero (insolvencia, déficit, pasivos contingentes) que se deriva de los desastres extremos y que se cubren mediante contratos de transferencia de pérdidas. La Figura 3.7 ilustra una curva de excedencia de pérdidas típica.

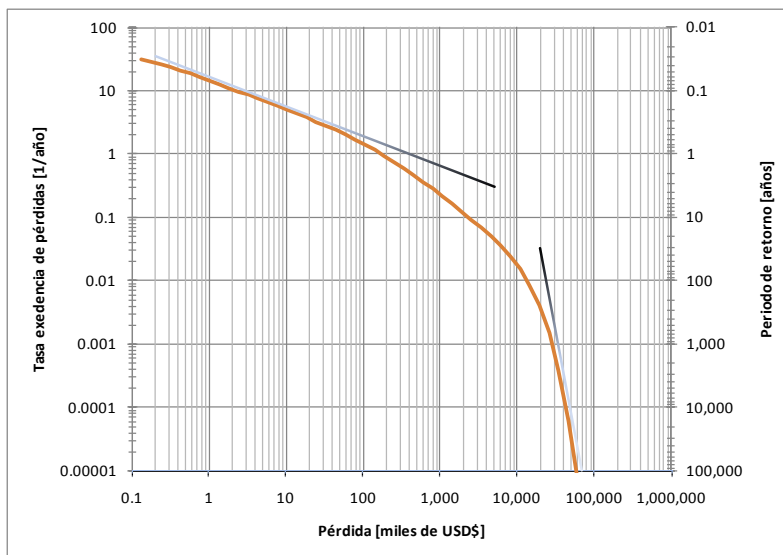


Figura 3.7. Curva de excedencia de pérdidas para evaluar el riesgo de desastre

Ahora bien, de lo anterior se concluye que la curva de excedencia de pérdidas obtenida analíticamente por su propósito *i)* suele realizarse sólo para eventos como terremotos, huracanes o fenómenos que pueden causar grandes consecuencias por la correlación o simultaneidad de los efectos sobre el portafolio expuesto, *ii)* es relevante y confiable sólo a partir de una pérdida en algún grado importante, conocido como el *attachment point* (deducible), que se considere pueda definir un valor apropiado para el tomador a partir del cual empieza la transferencia. Esto significa que las consecuencias causadas por eventos que difícilmente puedan correlacionar pérdidas (por ejemplo, inundaciones de poca extensión, deslizamientos, eventos menores, etc.) o

las consecuencias causadas por eventos de menor intensidad (debido a que no se tiene en cuenta la acumulación de pérdidas en el tiempo) deben ser asumidas por el cedente.

El no contar con la valoración de las pérdidas por eventos menores no ha permitido hasta ahora que alguien se interese por desarrollar empíricamente una curva de excedencia de pérdidas que ilustre lo que no captura la curva en forma analítica (por las razones anteriores), lo que ha favorecido que se desprecie o subestimen las consecuencias de estos eventos. Es claro que la curva analítica ha sido propuesta y utilizada por los tomadores de riesgo cuyo interés no es valorar las pérdidas por debajo del deducible (que tendrían que ser del interés de los cedentes) y dejando de considerar los efectos acumulativos y las implicaciones de enfrentar de manera recurrente sucesos que pueden producir desgaste administrativo. En otras palabras, sucesos que deberían ser de interés de los gobiernos y que en realidad no se han interesado ni han dimensionado o medido sus verdaderas consecuencias sociales y económicas.

Lo anterior podría ser una de las razones por las cuales algunos gobiernos realmente no están cubriendo los desastres menores o por las cuales no se ha tenido claridad (evidencia) o una justificación de contar con una estrategia de mitigación bien definida según el nivel de riesgo que estos sucesos presenta, a pesar de sus efectos sociales pero también, incluso, económicos cuando se valoran en forma apropiada. Por lo tanto, lograr desarrollar empíricamente, con una serie de supuestos de costos económicos y una base de datos de eventos menores y recurrentes, el primer segmento de la curva de excedencia de pérdidas, que en general correspondería al deducible o parte poco confiable y más bien “despreciable” de la curva analítica, es un paso que puede ser de especial interés para que se adopte una metodología que permita determinar las consecuencias de los sucesos menores y de los verdaderos costos que esos sucesos tienen y que están ocultos o están siendo asumidos en general por la población más vulnerable.

### **3.5. El riesgo aceptable vs. La seguridad pagable**

Riesgo aceptable es un concepto alusivo a un presunto o hipotético acuerdo colectivo acerca de un probable monto de pérdidas tolerables dentro de un determinado lapso de tiempo, que podría ocasionarse por un fenómeno determinado futuro (terremoto, huracán, deslizamiento, erupción volcánica, etc.). El concepto, si bien es susceptible de dimensionarse mediante herramientas probabilistas, llegándose – incluso– a representarlo en forma de escenarios de pérdidas probables, no es –al menos de manera explícita– el resultado de un acuerdo social.

El riesgo aceptado por la sociedad se puede deducir de acuerdo a lo que los individuos están dispuestos a invertir voluntariamente en medidas de mitigación del riesgo. Estas medidas son aceptadas de acuerdo al costo-beneficio, es decir, si los beneficios esperados en términos de reducción del daño por una tasa de interés apropiada, excede el costo de las medidas aplicadas. Si una medida de reducción del riesgo cumple este criterio, se verá seguramente deseable desde una perspectiva más amplia, considerando también otros beneficios directos e indirectos. El riesgo aceptable

se puede considerar como las posibles consecuencias sociales y económicas 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 (Lavell 2003; CEPAL *et al.* 2005). La ausencia o la baja cultura del riesgo conlleva a que en la mayoría de los casos las personas no inviertan en medidas de reducción del riesgo, en principio por los altos costos difícilmente asequibles, aunque en general, la razón es que los individuos no perciben sus beneficios ya sea por las perspectivas de recuperar su inversión en el corto plazo o por la aversión a los costos iniciales de inversión, por sus limitaciones de presupuesto o porque el hecho de tener que invertir una suma tangible ahora para recibir un beneficio en el futuro es instintivamente infravalorado y paradójicamente, esperan no verlo nunca. En otras palabras, cuando los individuos asumen que la probabilidad de alcanzar una ganancia potencial alta es débil, la inversión se manifiesta poco interesante, especialmente teniendo en cuenta la importancia de la inversión inicial. Así que, en los casos en que están dispuestos a invertir, por las condiciones de incertidumbre, la gente está dispuesta a hacerlo únicamente en una proporción baja (Ekeland 1992). Otro mecanismo psicológico menos formal es diferir las decisiones ambiguas, es decir, cuando menos certeza hay sobre una acción positiva lo más probable es que se escoja la inacción (Tversky *et al.* 1992). Esta ambigüedad aparece particularmente en el contexto de decisiones de mitigación donde la pregunta de si es óptimo mitigar es frecuente. Otra explicación por la que la gente no invierte en mitigación es la espera de las ayudas del gobierno si se presenta algún daño, o bien subestiman la probabilidad de ocurrencia de un desastre o asumen que serán inmunes.

El problema, sin embargo, no es que no se aprende sino que pareciera que no se aprende lo suficiente de las experiencias de los desastres. Instintivamente, las personas aprenden a protegerse de las amenazas confiando en el mismo ensayo y error que han probado ser exitosos en otros momentos, la capacidad heurística que anima a repetir esos comportamientos que generan respuestas positivas y que evitan comportamientos que producen resultados negativos. Pero cuando se imponen medidas de reducción del riesgo sin una consciencia explícita de su utilización y se aplican como acciones tales como caminar, hablar y respirar, dicha imposición es particularmente inapropiada para aprender a responder mejor ante amenazas de baja probabilidad y altas consecuencias. En otras palabras, en algunas ocasiones los comportamientos más protectores podrían significar una respuesta negativa en comparación con los comportamientos aprendidos y conscientes que pueden generar una respuesta positiva ante eventos inciertos. Adicionalmente, el riesgo aceptado socialmente varía de comunidad en comunidad, es decir, en general, la inversión y efectividad de las medidas de mitigación depende del número de personas alrededor que eligen también aplicar estas medidas (Kunreuther *et al.* 2009). Si una persona piensa que los otros no van a invertir en seguridad, entonces tiene menos incentivos para hacerlo dado que las medidas de seguridad pueden no proporcionar protección contra los efectos dominó de las fallas de los otros. En cambio, si cada individuo cree que los otros invertirán en seguridad, luego, su estrategia óptima es también tomar medidas de protección, logrando un equilibrio de soluciones. (Kunreuther *et al.* 2006).

El concepto de riesgo aceptable, en general, escapa a la comprensión y al manejo consciente y responsable de los tomadores de decisiones (gobierno), al igual que los ciudadanos expuestos a amenazas. Es un concepto, más bien críptico, perteneciente al dominio de los expertos en ciencias físicas e ingeniería. Pese a que la dimensión de un riesgo aceptable pueda llegar a expresarse con la sencillez y con la contundencia de un número, su naturaleza y consecuencias siguen siendo una fantasmagoría para la gran mayoría de los ciudadanos. Y es porque, además de la limitada versación del común acerca de las ciencias, los tomadores de decisiones y los ciudadanos, parece, han delegado en forma implícita en los expertos la definición y el dimensionamiento del riesgo aceptable, motivados por la escasa claridad acerca de sus consecuencias tangibles, tanto en el ámbito privado como en el ámbito social. Por ejemplo, poca sensibilidad despierta entre el público la fijación de un “período de retorno” establecido como parámetro para dimensionar la intensidad del suceso que deben considerar, en caso de sismos, los ingenieros para diseñar sus estructuras, o en el caso de inundaciones la altura de los diques o terraplenes de protección, si la medida del riesgo (o, de la seguridad) que ello implica, no se le presenta de manera electiva al tomador de decisiones. Es decir, el usuario de esa estructura o de la zona protegida no se halla en posición de elegir legítimamente el nivel de seguridad deseado en su edificación o área inundable, con pleno conocimiento previo de las consecuencias de su elección. De hecho, el Estado ya ha tomado por los ciudadanos esa decisión cuando se han expedido, por ejemplo, las normas de diseño y construcción sismorresistente. Las estructuras se proyectan para que “razonablemente” puedan soportar sismos muy intensos en el sitio a criterio de los expertos sin poner en peligro, en teoría, la vida de los ciudadanos y tratando en lo posible de proteger indirectamente el patrimonio de los mismos.

Cabe aquí, entonces, la pregunta: ¿debería el riesgo aceptable constituirse en materia elegible por los ciudadanos?. O, de otra manera, ¿debería ser objeto de concertación entre el Estado y los particulares?.

Los gobiernos deben optar por determinar políticas y programas que se deben diseñar de acuerdo con las características de la población como el nivel de ingresos económicos, la educación, la edad, entre otros (Kunreuther *et al.* 2001). Hasta ahora, las regulaciones son el medio más efectivo para asegurar la mitigación: si la población no puede escoger sabiamente donde vive o cuánto invertir en protección, el gobierno asume la posición de tomar esa decisión mediante la imposición de códigos de construcción y regulaciones de usos del suelo. Más aún, teniendo en cuenta que la libertad de escogencia puede ser óptima socialmente en el corto plazo pero no desde una perspectiva a largo plazo si no existe un conocimiento permanente de las amenazas que los podrían afectar (Kyland *et al.* 1977). Como se mencionó anteriormente, si los individuos subestiman la probabilidad de un futuro desastre, se deben implementar reglas que disminuyan la probabilidad de pérdidas (Kunreuther *et al.* 2005).

El tema no es simple, una vez que no se ha llegado a un estándar al respecto. Posibles respuestas a esta cuestión, apuntarían hacia la construcción de una reflexión acerca de la seguridad electiva. Escoger la seguridad deseable sería, por complementariedad, definir por sí mismo el riesgo aceptable, en términos individuales de cada cual. Las consecuencias de tal elección deberían, entonces, expresársele al ciudadano que así elige en términos de: valor de la pérdida probable (pague después)



vs. costo de la seguridad elegida (pague ahora). De esta forma, la seguridad deseable se vería acotada por la consideración pragmática de la seguridad pagable, con lo cual surge un aparente modelo individual completo de toma de decisiones. No obstante, la teoría de las decisiones no requiere en modo alguno que se tengan bases objetivas respecto de las probabilidades sobre el futuro. No porque una convicción sea irracional tiene menos fuerza y no porque una probabilidad sea subjetiva deja de determinar la decisión (Ekeland 1992).

En la práctica, la concreción de un sistema de seguridad electiva conduciría a un instrumento similar al contrato de seguros comercial. Restaría precisar el grado de participación y responsabilidad del Estado en el diseño y regulación de tal instrumento y en su participación como co-asegurador de los riesgos que el ciudadano asume, si este fuera el caso, en favor –ante todo– de los sectores de la población con menor capacidad de pago. Esto implicaría que los códigos de construcción, y otras normativas similares, tendrán que ser revisadas –en consecuencia– en lo tocante con la definición del riesgo aceptable (implícita o explícita, actualmente), migrando hacia un nuevo concepto de riesgo variable vs. costo pagable, elegible por el ciudadano dentro de ciertos límites y condiciones, explícitamente declaradas su libre elección y la aceptación de sus consecuencias. Pero en la actualidad, en muchos casos los individuos no aceptan el seguro si existe un riesgo base, o pedirán una reducción más alta que la esperada en la prima de seguro. Este comportamiento parece ser un efecto certero extremo (Allais 1953): La voluntad para pagar no solamente está altamente reducida sino que la mínima posibilidad de riesgo es rechazada. Se podría argumentar que la gente compra garantías y seguros para lograr “la paz mental” (Hogarth *et al.* 1995; Kunreuther *et al.* 2005) o para reducir la incertidumbre sobre la ocurrencia de una pérdida potencial (Schade *et al.* 2008), un objetivo que no se puede lograr con la presencia del riesgo base. Por lo tanto la idea de comprar un seguro y todavía estar sujeto a algún riesgo, no importa que tan pequeño, parece ser inaceptable para mucha gente. Las probabilidades numéricas y verbales y la insolvencia, no tienen un impacto sistemático en estos aspectos generales. No importa cómo se comunica el riesgo base, la gente tiene una gran aversión a éste y reacciona acorde a esto.

Claramente, un sistema de seguros se podría entonces abstener de asegurar ciertos inmuebles inasegurables (lo que podría generar ciertas presiones) de acuerdo con sus estimaciones o tendrían que estimar primas muy altas a dichos inmuebles, lo que generaría posiblemente ofertas distintas en el mercado y competencia en uno y otro sentido por parte, por ejemplo, de los constructores. El hecho es que actualmente, el riesgo aceptable no es claro para casi nadie, y es el eximente de responsabilidad o culpa en el contrato entre terceros, por ejemplo, de la construcción de edificaciones en las ciudades. Adicionalmente se agrega que dado un nivel de riesgo aceptable muchas edificaciones construidas previamente podrían resultar vulnerables a la luz de dicho referente del Estado y la pregunta que surge es si ¿es necesario reforzar o rehabilitar esas estructuras a los nuevos niveles establecidos?, y si ¿se refuerza a un nivel menor al establecido es inadecuado aunque pueda ser conveniente?

En resumen, el riesgo aceptable en lo individual está inmerso en muchas decisiones conscientes o inconscientes que toman los ciudadanos en relación con su propia seguridad. En términos prácticos siempre se está asumiendo un riesgo y el grado de seguridad en cada caso depende de valoraciones relativas y actitudes sociales

complejas. Igualmente, el riesgo aceptable está implícito en diversas decisiones que toman los gobiernos en un contexto caracterizado por condiciones de incertidumbre. A pesar de que en las normas técnicas de seguridad, como los códigos de construcción, los retiros en los cauces de los ríos, la altura de diques o niveles de resistencia o capacidad que deben cumplir ciertas obras de infraestructura se definen factores de seguridad, períodos de retorno, probabilidades de excedencia, etc. desde el punto de vista legal es difícil encontrar disposiciones que obliguen a utilizar uno u otro referente como criterio de seguridad establecido. Esto es evidente incluso en el campo de los seguros donde los niveles de solvencia exigidos por los entes reguladores no obedecen a un estándar, lo que claramente varía de país en país. A los gobiernos les cuesta trabajo determinar explícitamente un referente para tomar decisiones de seguridad colectiva, pero también de protección financiera frente a desastres. Los criterios de utilizar una u otra pérdida máxima probable específica para establecer el valor del pasivo contingente por desastres podrían variar notablemente de un sitio a otro y muy posiblemente van a estar vinculados a la disponibilidad de recursos, costos de oportunidad u otras implicaciones financieras.

Aunque parezca deseable definir un criterio, un referente o un estándar no parece factible que pueda lograrse. Sin embargo, se debe resaltar que la gestión del riesgo es un conjunto articulado de proyectos que deben considerar la gestión urbana como un conjunto de normas, obras y actividades coherentes, con instituciones y organizaciones que se encarguen del conjunto y de la integración de las partes, para lograr un modelo de desarrollo y transformación de la sociedad que parte del análisis y de las experiencias sufridas (CEPAL *et al.* 2005) En el marco de esta investigación se concluye que lo recomendable es que los países lleven a cabo estudios de riesgo de los activos o bienes que se definan como de responsabilidad fiscal del Estado; utilizando una curva de excedencia de pérdidas. Posteriormente se debería llevar a cabo una estratificación del riesgo por capas que permita dimensionar pérdidas probables y establecer referentes (e.g. períodos de retorno) que se consideren razonables o factibles según las restricciones financieras, económicas y de desarrollo. Puede ocurrir que un país expuesto a amenazas poco severas determine según sus capacidades presupuestales límites altos en términos relativos (pérdidas con períodos de retorno muy amplios) para definir los montos de fondos de reservas y primas de seguros para cubrir amplias capas de pérdida. Estos montos podrían corresponder a pérdidas modestas (con períodos de retorno muy cortos) en un país donde el riesgo es muy alto debido a amenazas muy severas o donde se presentan vulnerabilidades muy altas. En cualquier caso parece que lo que determinará el nivel de protección financiera será la misma capacidad económica del país.



## Capítulo 4.

# MECANISMOS DE PROTECCIÓN FINANCIERA

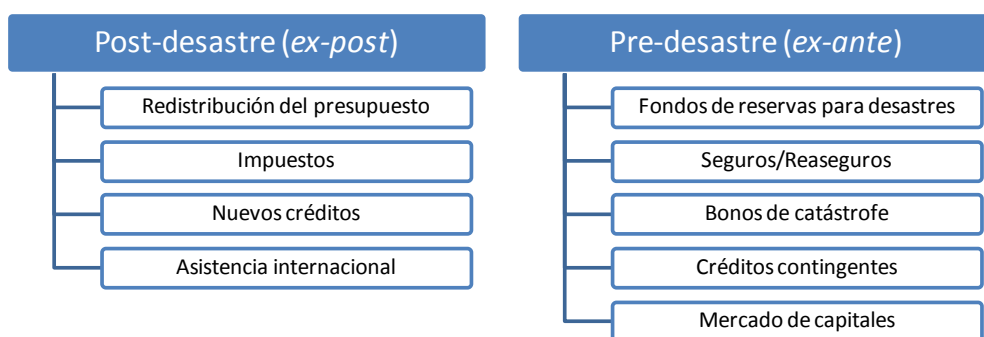
A pesar de la alta frecuencia con la que las autoridades tienden a enfrentar desastres por eventos naturales adversos, muchos países carecen de un marco legal y de política sobre el ámbito y los límites de la responsabilidad pública frente a estas situaciones. Este vacío, a menudo, favorece que se presenten demandas de recursos que deben ser facilitados por el Estado, lo que resulta en un aumento paulatino de impacto de los desastres en el balance fiscal. Esto se presenta, en parte, porque la ausencia de un apropiado marco legal comúnmente genera desincentivos para que los ciudadanos y al sector privado asuman su rol en cuanto a la gestión del riesgo. Adicionalmente, las intervenciones post-desastre del Estado crean expectativas por parte de población afectada en subsecuentes desastres, lo que aumenta aún más las obligaciones implícitas del Estado. Hacer claridad acerca de los límites de la responsabilidad del Estado desde el punto de vista legal e implementar mecanismos de co-responsabilidad por parte del sector privado y los ciudadanos, es fundamental para orientar una reducción de las condiciones de riesgo en forma sostenida y reducir las pérdidas implícitas en caso de desastre (DNP 2005).

Una estrategia general de reducción del riesgo involucra diferentes acciones por parte de los gobiernos tales como actividades de mitigación, prevención y de planificación territorial. Adicionalmente, surgen opciones de protección financiera y financiamiento del riesgo para lo cual es necesario plantear una estrategia integral, relacionada con el riesgo catastrófico, que incluya no sólo el sector público sino el privado. El Estado, además de proteger sus propios bienes o activos fiscales, debe considerar igualmente las pérdidas que se puedan presentar en los estratos socio-económicos de menores ingresos, con el fin de controlar el impacto social que puede generar el desastre ante la incapacidad de este segmento de la población para recuperarse (Cardona *et al.* 2010a).

Ahora bien ¿Cómo sufraga un Estado los costos de atención de emergencias y reconstrucción? Puede decidir hacerlo después de que se ha presentado el desastre; es decir de manera *ex post*, que es la forma menos eficiente y eficaz, aplicando nuevos impuestos, esperando donaciones internacionales, desviando el presupuesto o préstamos aprobados y solicitando nuevos créditos con los organismos multilaterales internacionales. La otra forma de hacerlo es antes de que los desastres se presenten; es decir, de manera *ex ante*, que es la forma usualmente más eficiente y eficaz en términos financieros: constituyendo fondos de reservas, contratando seguros y reaseguros,

acordando créditos contingentes, emitiendo bonos de catástrofe u otros mecanismos del mercado de capitales (Tabla 4.1).

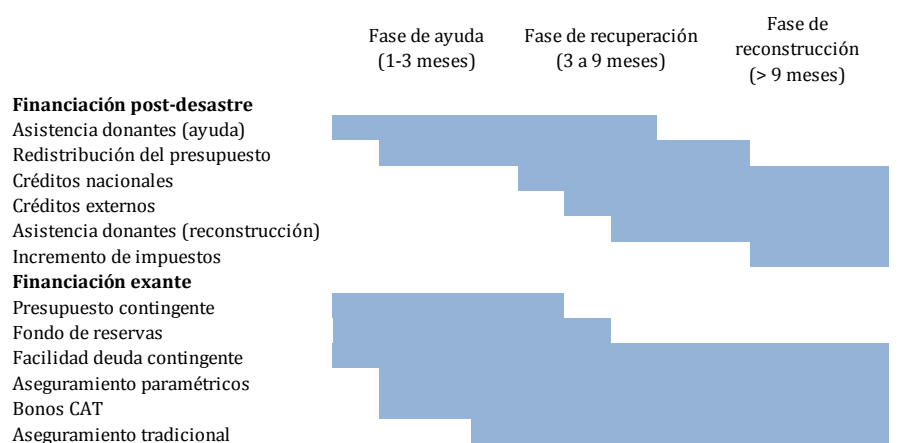
**Tabla 4.1.** Financiación *ex ante* y *ex post* de los costos de atención de emergencias y reconstrucción



#### 4.1. Gestión financiera del riesgo de desastres

Aparte de las actividades de prevención y mitigación y la preparación para desastres, contar con una estrategia financiera de retención y transferencia del riesgo de desastre permite acceder a recursos para la respuesta y reconstrucción, es decir, los gobiernos deberían establecer estrategias de financiación más eficientes mediante acciones *ex ante*, establecer mecanismos o instrumentos de retención consciente y transferencia de las pérdidas factibles para los diferentes niveles de gobierno, que permitan contar con recursos económicos para cada etapa después de un desastre, es decir, contar con la liquidez inmediata para asegurar la emergencia, la recuperación y la movilización de mayores recursos para la reconstrucción; la cantidad necesaria para la reconstrucción generalmente es mucho mayor pero no tiene las mismas restricciones de tiempo que la atención y recuperación (Ghesquiere *et al.* 2010). La efectividad de estas estrategias no sólo es importante por la disponibilidad de recursos en un menor tiempo sino porque los recursos son destinados previamente y por lo tanto no están sujetos a competencia de concesiones. Dentro de las alternativas factibles se destaca la creación de fondos de reservas, contratación de créditos contingentes, la suscripción de seguros y reaseguros y la utilización de instrumentos de protección financiera del mercado de capitales. Los programas de financiación *ex ante* se ajustan a un marco más proactivo y eficiente de la gestión integral del riesgo como se presenta en la Figura 4.1.

Para las estrategias financieras de retención y transferencia del riesgo, los mecanismos financieros del riesgo permiten construir sistemas para responder eficientemente a los impactos protegiendo las vidas y las propiedades y mitigando el impacto negativo en el desarrollo a través de respuestas rápidas y apropiadas. Como lo muestra la experiencia mundial, las alternativas financieras de transferencia y retención frente a los desastres naturales tiene dos grandes ventajas: estimula la prevención orientada por las empresas aseguradoras y garantiza el financiamiento y eficiencia en las actividades de reconstrucción post-desastre (Vargas 2002).



**Figura 4.1.** Fuentes de financiación post-desastre. Fuente: Ghesquiere et al. 2010

Ahora bien, los países, especialmente los que están emergiendo económicamente, con baja penetración del seguro tienen menor capacidad para absorber los costos no previstos y no presupuestados de los desastres. En estos países, las imperfecciones del mercado persisten y la expansión y desarrollo de mecanismos de cobertura de pérdidas económicas se mantiene limitado. Por ende, el impacto de las pérdidas no aseguradas no sólo se siente en el periodo subsiguiente al desastre sino que tiene repercusiones al mediano y largo plazo. Además, los países en desarrollo asumen que pueden contar con las ayudas internacionales, lo que reducirá el incentivo y por lo tanto la inversión en medidas de mitigación y aseguramiento” (Freeman *et al.* 2003). En cuanto a la intervención del gobierno en un mercado de aseguramiento activo, debería estar limitada, dado que podría desencadenar consecuencias no planeadas o incentivos equivocados. Por ejemplo, las regulaciones que mantienen las tasas artificialmente bajas podrían estimular a los propietarios a mantenerse en zonas de alto riesgo o a descuidar el mantenimiento de las estructuras como medio de prevención del riesgo, que, al final, el gobierno se verá con la responsabilidad de sumir costos que se hubiesen podido evitar. Así pues, los gobiernos pueden estimular el desarrollo de un mercado de aseguramiento mediante el subsidio inicial de las primas de seguros, limitándolo a la fase inicial del mercado de capitales y particularmente para mercados en desarrollo y emergentes, donde la asequibilidad a la prima de seguro es complicada.

Finalmente, es significativo señalar que existe una compensación natural entre la mitigación y la transferencia del riesgo, dado que invertir en la mitigación, aunque puede significar costos de inversión iniciales altos, se justifica en el largo plazo con niveles de daño físico bajos en caso de que un suceso se materialice, y, adicionalmente, puede significar bajos costos de aseguramiento. Sin embargo, aunque se reconoce la importancia de la reducción y la financiación del riesgo y de la estimación probabilista de pérdidas por sucesos naturales, se carece en general de información de los costos económicos y de los beneficios asociados de las alternativas para reducir o financiar dichas pérdidas; así como la factibilidad de implementación de cada estrategia, los beneficios sociales y comunitarios y sus efectos indirectos. Por tanto es necesario que las políticas

encaminadas hacia la reducción del riesgo reciban realmente la atención que requieren. Las complejidades asociadas con las decisiones de gestión del riesgo en términos financieros hacen que el establecer estrategias de reducción, transferencia y retención de riesgos sea un reto. La selección de cual técnica adoptar es una decisión compleja porque depende no sólo del costo y las metas que se intentan alcanzar sino, en buena parte, de la opinión pública. El Anexo A presenta una terminología básica útil para la comprensión de los diversos temas que se tratan en este documento y en otras publicaciones similares que se incluyen en las referencias (Cardona 2002; Marulanda *et al.* 2008a).

A continuación se describen y comentan en el marco de la gestión financiera del riesgo soberano las alternativas que se pueden utilizar y que actualmente están disponibles por la industria de seguros y reaseguros y en los principales mercados de capitales.

## **4.2. Instrumentos financieros de transferencia y retención del riesgo**

A nivel internacional, cambios rápidos en el sector financiero están permitiendo la aparición de alternativas para enfrentar las pérdidas causadas por fenómenos peligrosos como terremotos, huracanes, inundaciones, entre otros. Los mecanismos disponibles en los mercados de seguros y de capitales no son sustitutos entre sí, sino que son complementarios y se deben usar simultáneamente en una estructura combinada que cubra diferentes capas de riesgo. Dentro de esta estructura pueden participar distintos tipos de agentes, entre ellos, empresas aseguradoras, reaseguradoras, inversionistas privados, banca de inversión, intermediarios financieros y entidades multilaterales, lo cual implica que aunque existe esta estructura institucional, el marco regulatorio del uso de este tipo de instrumentos está por fuera de la esfera nacional. Por esta razón, además de un estudio detallado que especifique el diseño y la estrategia de colocación de la estructura de financiación, es necesario trabajar en el logro de acuerdos multilaterales que permitan el acceso de instituciones locales a los mercados internacionales y al establecimiento de acuerdos que permitan consolidar un marco regulatorio común a las distintas entidades nacionales e internacionales participantes en el sistema.

### **4.2.1. El seguro y reaseguro frente a desastres**

El seguro en sí mismo no es considerado como una medida de mitigación porque, más bien redistribuye la pérdida en lugar de reducirla. Un programa de seguros cuidadosamente diseñado puede, sin embargo, estimular la adopción de medidas de mitigación, asignando un precio al riesgo y creando incentivos financieros a través de descuentos aplicables a las tasas de las primas, deducibles más bajos y límites de cobertura más altos, condicionados a la implementación de dichas medidas de reducción del riesgo.

El mercado de seguros y reaseguros a nivel mundial tiende a crecer. La mayor concentración humana en las ciudades y el valor creciente del *stock* de capital eleva cada vez más las pérdidas ocasionadas por los desastres. En segundo lugar, el cambio climático hace prever que los desastres serán más frecuentes y más intensos. Incluso, la amenaza terrorista representa una nueva fuente de desastre que necesita de los mecanismos de transferencia del riesgo.

El seguro y el reaseguro son instrumentos de protección financiera que permiten transferir el riesgo a una compañía de seguros y al mercado de reaseguros a nivel internacional. Usualmente, los seguros se basan en la ley de los grandes números (los sucesos asegurados son vistos como independientes entre sí; la probabilidad de ocurrencia de muchos en forma simultánea es baja), sin embargo, para los seguros de catástrofes originadas por terremotos o huracanes, la situación es diferente, pues la pérdida puede ocurrir a muchas propiedades en forma simultánea en un área grande. En estos casos, se dice que las pérdidas están correlacionadas. A menor correlación es menor la pérdida o el riesgo para una compañía de seguros particular.

Cuando existe alta ambigüedad del riesgo, es decir cuando hay una alta incertidumbre en relación con la probabilidad de ocurrencia de una pérdida específica y su magnitud, el valor de la prima es mayor. Los actuarios y suscriptores manifiestan aversión a la ambigüedad, por consiguiente, cuando se percibe que el riesgo no está bien especificado se define un valor mayor de la prima. Y, cuando no se puede distinguir entre la probabilidad de pérdida para categorías de riesgos buenos y malos se presenta una selección adversa. Esto se presenta cuando el asegurador asigna la misma prima a toda la población de propiedades, lo que puede inducir que solo propietarios de riesgos malos compren el seguro.

Ahora bien, el asegurador podría sufrir una pérdida importante en cada póliza que venda si sólo se compran coberturas para riesgos malos, por lo cual, para evitar que los propietarios de riesgos buenos manifiesten aversión y pierdan el interés en pagar su cobertura por considerarla muy alta, es recomendable la diferenciación de la prima entre riesgos buenos y malos. Aunque existen varios enfoques para enfrentar este tipo de situación, el más adecuado, de acuerdo con el estado del conocimiento, es contar con una auditoría idónea o un examen profesional que determine la naturaleza del riesgo con mayor precisión. Sin embargo, el costo de este estudio puede significar un aumento en la prima, a menos que el tomador de la póliza pague por dicha auditoría. Este problema de la selección adversa se presenta, obviamente, sólo cuando las personas tienen mejor información de la probabilidad de pérdida que el vendedor de la cobertura. Si no se tiene mejor información ambos lados están fundamentados en lo mismo y se puede tener un solo valor de prima *blanket* basada en el riesgo promedio. En este caso tanto los propietarios de riesgos buenos como malos podrían igualmente estar interesados en comprar las pólizas. En los últimos años, el mayor entendimiento por parte del público sobre la vulnerabilidad de los edificios y el papel de los códigos de construcción, ha hecho que con frecuencia los propietarios cuestionen a las compañías de seguros que no establecen la diferencia entre un edificio construido con normas o reforzado y otro que no cumple con estas características.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el riesgo moral. Se refiere a un incremento de la probabilidad de la pérdida por el comportamiento del tomador de la póliza. Asunto que es muy difícil de monitorear o controlar. Una de las formas para enfrentar esta situación es la introducción de deducibles y coaseguros que estimulen o



incentiven el comportamiento cuidadoso después de adquirir la cobertura. Estos aspectos sumados a la correlación o simultaneidad de pérdidas causadas por el mismo suceso, usualmente se traducen en un aumento del valor de las primas, lo que ha incidido en muchos casos a que haya una muy baja demanda de cobertura. Las compañías de seguros, en consecuencia, en muchos casos no han encontrado factible ofrecer las coberturas y se ha llegado a la conclusión de que los riesgos en consideración no son asegurables porque no permiten un desarrollo normal del producto.

Para lograr negociar la cobertura de pérdidas por fenómenos naturales peligrosos es necesario estimar la pérdida anual esperada, con el fin de definir cuánto debe ser el valor de la prima de la póliza e identificar qué hace que haya una diferencia en la determinación de la prima a cobrar. Adicionalmente, es importante considerar como se puede ajustar la prima de acuerdo a diferentes características como las condiciones de sitio, el tipo de estructura y la calidad de la construcción.

En este sentido, los seguros y reaseguros son los mecanismos que mayor desarrollo ha presentado en la estimación de pérdidas potenciales y cuentan con una gran experiencia en el manejo de este tipo de riesgos, además, han encontrado diversos mecanismos para transferir el riesgo por desastre al mercado global de capitales, por lo tanto, han sido las más utilizadas por el sector privado y por los gobiernos para transferir los riesgos de pérdidas económicas causadas por desastres. Existen varias compañías internacionales que tienen la capacidad de suscribir contratos en los que se consideran coberturas por exceso de cúmulo. Esta alternativa tiene la ventaja de que el cedente descarga en la compañía de seguros el riesgo incurriendo en menores costos de manejo. Una vez cedido o transferido el riesgo a la compañía, ésta, como tomadora, decide la manera óptima de diversificar su portafolio. Instituciones grandes, como son los gobiernos, pueden tener fácil acceso a este mercado, por lo que este mecanismo de transferencia del riesgo es una alternativa viable. Las entidades territoriales pequeñas podrían recurrir al gobierno central para, a través de éste, canalizar su transferencia de riesgo a una compañía de seguros.

Por regla general, el tipo de seguro que se utiliza cuando se consideran desastres es el seguro por exceso de pérdida (XL). Existen variaciones del contrato de exceso de pérdida, especialmente implementadas por el sistema de reaseguros, en las cuales la prioridad y el límite no están determinados por el monto de la pérdida sufrida por el asegurado, sino por índices de pérdida del mercado de seguros o por parámetros objetivos como el nivel de lluvias o la actividad sísmica, que se utilizan como índices paramétricos o disparadores. Para calcular las primas de estos contratos, se debe establecer una relación entre las pérdidas que se presentan para el asegurado y los factores que determinan la prioridad y el límite (Marulanda *et al.* 2008a). En lo concerniente a los reaseguros este es un contrato de tipo no proporcional que le permite al asegurador primario retener una mayor parte de la prima bruta sin tener que renunciar a estar cubierto contra siniestros grandes. A cambio de este beneficio, el reasegurador se expone a un mayor riesgo, al tener que responder por la totalidad de los fondos establecidos por la prioridad. La prioridad o deducible es el monto hasta el cual el asegurado (en el caso de los reaseguros el asegurador primario) retiene la totalidad del riesgo, es decir que hasta este punto el asegurado responde por la totalidad de sus pérdidas. A partir de un monto igual a la prioridad el asegurador (o reasegurador) responde por los siniestros que se presentan hasta un monto máximo

conocido como el límite. El asegurador (o reasegurador) está entonces comprometido a cubrir las pérdidas que exceden el deducible hasta la cantidad establecida por el límite. La distancia entre el monto deducible y el monto límite es conocida como una capa (*layer*). Según el tamaño del siniestro el mercado de seguros y de reaseguros puede organizarse en varias capas. Las compañías de reaseguros suscriben pólizas de diferentes partes del mundo y así se distribuye el riesgo geográficamente.

En relación al reaseguro, como se mencionó anteriormente el asegurador utiliza el reaseguro para limitar las fluctuaciones temporales en los siniestros frente a los que es responsable y para protegerse contra la insolvencia en caso de un desastre. Existen diferentes tipos de reaseguro que son importantes para efectos de encontrar los mejores esquemas de transferencia a través de este mecanismo.

*Reaseguro proporcional:* En este tipo de reaseguro las primas y siniestros se reparten entre el asegurador directo y el reasegurado en una relación fija. Estos reaseguros pueden ser de *cuota-parte* o de *excedente* de sumas.

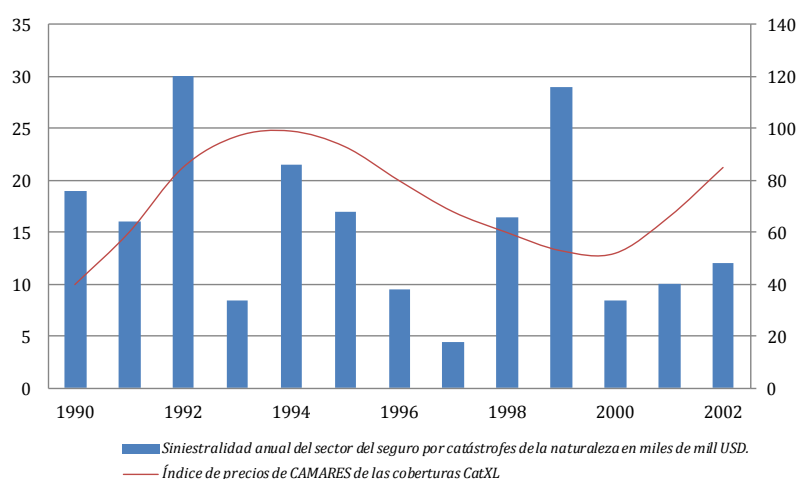
- *Reaseguro de cuota parte:* En este contrato el reasegurador asume una cuota fija de todas las pólizas que el asegurador ha suscrito en un ramo determinado. Dicha cuota determina la manera como el asegurador directo y el reasegurador se dividen las primas y los siniestros. Por su sencillez, esta forma del reaseguro es fácil de manejar y suele ahorrar costos. Sin embargo tiene el defecto de que no permite recoger suficientemente bien el riesgo de las pérdidas más cuantiosas, por lo que genera un portafolio de riesgo poco homogéneo.
- *Reaseguro de excedente de sumas:* En este tipo de reaseguros el asegurador directo retiene la totalidad del riesgo hasta un límite máximo de la cuantía asegurada. A partir de ese límite el reasegurador asume el resto de la cuantía asegurada. Las obligaciones del reasegurador se limitan a pérdidas no mayores a un múltiplo definido del límite máximo. De la repartición entre retención y cesión al reaseguro resulta una proporción del riesgo asegurado que determina la manera en que se dividen las primas y las pérdidas.
- *Reaseguro no proporcional:* En este tipo de seguro los siniestros se reparten de acuerdo con las pérdidas que se dan efectivamente. El asegurador directo define una cuantía específica hasta la cual responde por la totalidad de las pérdidas. Esta cuantía es conocida como prioridad o deducible. Cuando las pérdidas superan dicha prioridad el reasegurador debe responder por el pago del resto de estas hasta el respectivo límite de cobertura convenido. Contrario al caso proporcional, el reasegurador debe calcular el precio del reaseguro con base en información estadística y la distribución de probabilidad de las amenazas. Entre los tipos de reaseguro no proporcional se encuentran los reaseguros por exceso de pérdida:
- *Reaseguro por exceso de pérdida (XL):* Este es el tipo de reaseguro más utilizado para desastres o riesgo catastrófico. En este tipo de reaseguro los importes de las pérdidas son los que determinan la proporción de cesión del riesgo. En esta modalidad de reaseguro, el asegurador directo se responsabiliza completamente por la pérdida hasta la cuantía que determina la prioridad en la totalidad de las pólizas de un ramo predeterminado en el contrato, independientemente de la cuantía asegurada en estas. Las pérdidas

que superan el monto establecido por la prioridad deben ser pagadas por el reasegurador. Este último solo participa en el pago de las pérdidas que superan la prioridad.

*Estructura del mercado:* Debido a la magnitud de las pérdidas por desastres, la poca frecuencia con que se presentan y el tamaño del área que afectan, los seguros y reaseguros contra dichos fenómenos suelen distribuir el riesgo temporalmente y no espacialmente. Esto exige que los contratos entre aseguradores primarios y reaseguradores sean de largo término. De manera que el reasegurador pueda recuperar sus pérdidas renovando el contrato en los años en los que no se presenta ninguna calamidad. El mercado internacional de seguros y reaseguros ante desastres está organizado por varios niveles que dependen de la magnitud de la pérdida. En el primer nivel se ubican los aseguradores primarios, quienes se encargan de asegurar directamente a las empresas, familias o sector público. Estas empresas tienden a retener una mayor parte del riesgo de eventos con alta probabilidad y baja cuantía de daños, y procuran reasegurarse en mayor medida frente a eventos con poca probabilidad y daños cuantiosos, como los desastres. Esto en razón de la posibilidad de insolvencia de la empresa ante las indemnizaciones correspondientes dado un desastre de grandes proporciones. En el segundo nivel se encuentran los reaseguradores. Estas compañías asumen el riesgo que los aseguradores primarios no pueden manejar. Nuevamente dependiendo de la capacidad de solvencia de la compañía reaseguradora y de la magnitud de los desastres, estas compañías buscan desprenderse del riesgo mediante contratos de reaseguramiento con otras compañías más grandes o mediante el diseño de mecanismos financieros mediante la emisión de bonos y derivados financieros que distribuyen el riesgo en el mercado de capitales. Los niveles de capital que se manejan en el mercado mundial de seguros y reaseguros es una pequeña proporción de los que se manejan en el mercado de capitales global. El diseño de estos instrumentos ha permitido ampliar la capacidad del mercado de reaseguros, permitiendo la aparición de niveles más altos de prioridad y de límite en los contratos de exceso de pérdida, como se explica más adelante.

*Precios del mercado:* Los precios de los seguros y reaseguros a nivel mundial tienden a ser muy inestables. Después de una catástrofe de grandes proporciones las primas de seguros y de reaseguros se incrementan súbita y dramáticamente. Después de desastres como el huracán Andrew y el Katrina, el terremoto de Northridge y el atentado del 11 de septiembre de 2001, el terremoto de Christchurch en Nueva Zelanda de 2011, para mencionar algunos, los precios de los seguros y reaseguros se multiplicaron por un factor cercano a 3. La Figura 4.2 presenta la relación entre desastres y el nivel de precios en el reaseguro de catástrofes naturales. La fase caracterizada por precios elevados (*hard market*) a principios de los años noventa, fue desencadenada por las elevadas pérdidas del huracán Andrew y de algunas tormentas de invierno en Europa. Los desastres reducen la capitalización de los aseguradores y reasegurados y por otro lado, la demanda de estas coberturas aumenta porque se vuelven más conscientes de los riesgos que los amenazan. Estos incrementos tienden a desvanecerse con el tiempo pero de manera mucho más lenta a la elevación. Este comportamiento de los precios puede estar explicado por el intento de los reaseguradores de obtener una compensación vía precios por las pérdidas en que incurren después de un desastre, dado que los contratos entre aseguradores y reaseguradores son de largo plazo. Otro factor que influye en este

comportamiento cíclico de los precios es la revisión que hacen las compañías aseguradoras de los daños potenciales de un desastre. Después de dicha revisión las compañías aseguradoras pueden estar dispuestas a interrumpir el aseguramiento o a aumentar la prima necesaria para seguir con los contratos (Zimmerli 2003). El estudio empírico desarrollado por Froot (2001) muestra que para una parte del sector reasegurador de los Estados Unidos, las primas a las que se ofrecen los contratos de exceso de pérdida son muy superiores a las pérdidas esperadas. Este estudio también muestra que los aseguradores tienden a reducir su nivel de reaseguramiento conforme aumenta la magnitud del desastre y se reduce la probabilidad de ocurrencia. Esto indica que las compañías aseguradoras, contrariamente a la teoría, suelen retener el riesgo.



**Figura 4.2.** Nivel de precios de reaseguros CatXL en comparación con la siniestralidad anual causada por catástrofes naturales de 1990 a 2002 (Zimmerli 2003)

#### 4.2.2. Alternativas del mercado de capitales

En general, las dos o tres primeras capas (coaseguro) de pérdidas ante la ocurrencia de un desastre las cubren las empresas de seguros y reaseguros. La siguiente capa o nivel de pérdida generalmente es llevado a los mercados financieros utilizando instrumentos de financiación y transferencia de riesgo, y finalmente las capas más altas en la mayoría de los casos son cubiertas por líneas de crédito provenientes de instituciones multilaterales (como el BID, o el Banco Mundial).

El mercado de capitales tiene un nuevo rol emergente en la transferencia de riesgos catastróficos. Una característica básica de economías más sólidas es un sistema de mercado de capitales bien desarrollado. Estos sistemas localizan ahorros y capital de inversión en varios sectores económicos con la localización de reglas basadas en el riesgo y el rendimiento. La carencia de un nivel de capital, en el sector de seguros y reaseguros tanto local como internacional, suficiente para respaldar la financiación requerida por un desastre, genera, en países propensos a este tipo de riesgo, escasez de oferta de reaseguros, aumentos desproporcionados en las primas de seguros y

reaseguros y en general una gran distorsión en el funcionamiento correcto de los mercados. En algunas ocasiones, según la magnitud del desastre, los mercados de capitales locales no son capaces de absorber la demanda de recursos y de liquidez que este tipo de desastres requieren. Aun los mercados de seguros globales han tenido épocas en las que un leve aumento en la frecuencia de los desastres los ha llevado a muy bajos niveles de capital y solvencia. Finalmente, los gobiernos locales tampoco tienen capacidad de financiar las pérdidas por este tipo de desastres, debido a capacidades fiscales limitadas.

Aún en casos en donde se asegura gran parte de las propiedades privadas, en la mayoría de los casos los activos del gobierno, al igual que la infraestructura, están completamente desprotegidos; esto sin tener en cuenta la responsabilidad que recae sobre el gobierno en cuanto a aquella población que por condiciones de pobreza o escasez de recursos, a pesar de la disponibilidad de seguros en el mercado, no los pueden adquirir y por lo tanto también se encuentran desprotegidos. Tradicionalmente, para la cobertura del riesgo de desastre, se ha optado por la búsqueda de recursos, por parte del gobierno, para la reconstrucción luego de la ocurrencia del desastre; recursos que en la mayoría de los casos han provenido de líneas de crédito con bancos y otras fuentes de capital disponibles en el mercado. Sin embargo, la carga financiera que este tipo de mecanismos generan para los agentes involucrados en el contrato de aseguramiento y la incapacidad de este tipo de mecanismos de financiamiento para financiar grandes desastres, han llevado a la búsqueda de fuentes de cobertura de riesgo y de financiamiento capaces de cubrir este tipo de pérdidas.

En este contexto, el mercado de capitales global ha surgido como alternativa de financiamiento y transferencia de riesgo. Se estima que este mercado tiene actualmente un valor cercano a los US\$30 trillones de dólares, de los cuales Estados Unidos representa aproximadamente la tercera parte, y que las pérdidas generadas por un desastre son de una cuantía cercana a los movimientos de precios que en un día ocurren en este mercado. De esta manera, el mercado de capitales tiene la capacidad, en términos de recursos, de financiar y absorber los riesgos financieros que un desastre puede llegar a generar (Andersen 2002, p. 10). Aunque algunos países en desarrollo no tienen gran acceso a este tipo de mercados, instituciones multilaterales pueden facilitar esta entrada por medio de la creación de créditos contingentes y la realización de acuerdos regionales que permitan diversificación regional del riesgo, entre otros.

Desde mediados de los años 1990, en los principales mercados de capitales mundiales han surgido algunas innovaciones financieras que permiten manejar de una manera alternativa el riesgo financiero por desastres. Estas alternativas no son un sustituto de los mercados de seguros y reaseguros; por el contrario, son un complemento en tanto pueden ser utilizadas para transferir principalmente parte del riesgo de las empresas aseguradoras y reaseguradoras al mercado global, ya que este tiene la suficiente disponibilidad de capital para absorber los riesgos y pagos derivados de este tipo de eventos. Además, estas alternativas permiten la capitalización del sector de seguros local y global, de manera que en el mediano y largo plazo este se convierta en un sector autosostenible.

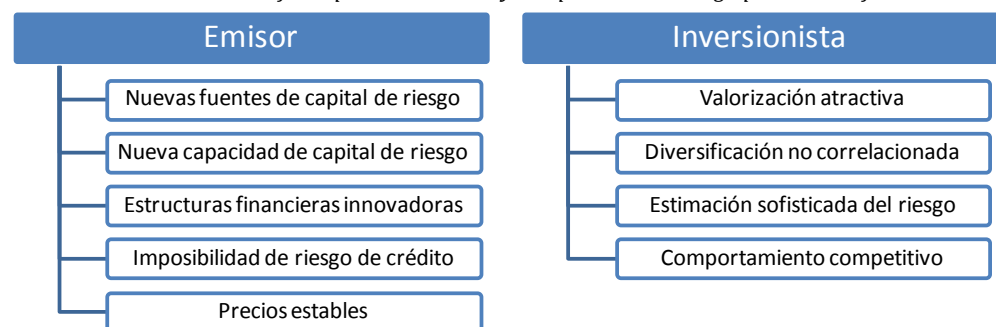
No hay una razón teórica por la cual el riesgo que corren los inversionistas en caso de desastre no pueda ser titularizado. Actualmente, las fuerzas del mercado han acelerado la convergencia entre el seguro y los mercados de capitales, permitiendo que

los emisores que tienen ambiciosos planes de crecimiento o excesiva exposición a desastres puedan ahora directamente acceder a otras fuentes de capital. Por otro lado, los inversionistas tienen la oportunidad de invertir en nuevas clases de activos que están no correlacionados con otras deudas o fondos de riesgo mientras ganan un atractivo rendimiento. El riesgo del portafolio de títulos convencionales decrece con la adición de títulos no correlacionados y las significativas mejoras en las metodologías de manejo de riesgos y técnicas de modelización pueden lograr que los inversionistas no familiarizados con el riesgo de desastre asegurado entiendan y acepten la cuantificación del riesgo.

En los mercados de capitales existen dos categorías básicas de instrumentos de financiación y transferencia de riesgo: títulos de renta fija (Bonos CAT) y derivados (opciones, *swaps*). Estos títulos generalmente son emitidos por grandes empresas aseguradoras o reaseguradoras (Swiss Re, AON, entre otras) y su monto de emisión es bastante alto (las emisiones oscilan entre los 50 y los 1500 millones de dólares). En cuanto al primer tipo de títulos, el mercado ha mostrado alta transabilidad, y aún se siguen dando emisiones de este tipo de títulos. Caso contrario ocurre con los derivados y opciones, las cuales han tenido bajos niveles de transabilidad, razón por la cual han dejado de circular en mercados como el CATEX (Catastrophe Risk Exchange). Por esta razón, en términos de factibilidad, la emisión de bonos de catástrofe para cubrir las responsabilidades del Estado en cuanto a riesgo de desastre mencionadas previamente se convierte en la opción más viable en adición a los seguros y reaseguros convencionales. En la siguiente sección se describe en forma independiente esta alternativa con mayor detalle.

La Tabla 4.2 resume algunos de los beneficios tanto para los emisores (vendedores) y los inversionistas (compradores) de riesgo de desastre.

**Tabla 4.2.** Beneficios para vendedores y compradores de riesgo por catástrofe



Hay costos con la titularización: Comisiones, análisis de riesgo, colocación en compañías externas para reducción de impuestos, contabilidad y aspectos de regulación, costos legales y de impresión asociado. Estos costos aumentan los descuentos de la titularización y el tiempo y aprendizaje de un nuevo producto. Actualmente, la titularización es promisorio pero no la factibilidad de contar con una alternativa de bajo costo para el riesgo catastrófico que pueda obtenerse del mercado de reaseguro tradicional. Con el tiempo es razonable que se disponga de unas fuentes muy

competitivas para colocar riesgo de seguro catastrófico, especialmente después de que se hayan resuelto aspectos relativos a regulaciones, contabilidad e impuestos.

Por otro lado, retomando elementos conceptuales sobre mercados de capitales, una manera de clasificar estos mercados es determinando si los títulos son “nuevos”, es decir, si el inversionista los está adquiriendo directamente del emisor, o si está siendo transado entre diferentes inversionistas. En el primer caso, el mercado para títulos nuevos se denomina mercado primario, mientras que en el segundo caso el mercado para títulos ya emitidos (o transados entre inversionistas) es el mercado secundario. El mercado secundario, además de dar liquidez al mercado, permite a los emisores del título o activo financiero determinar el grado de receptividad que los inversionistas tendrían ante nuevas emisiones de títulos. De esta manera éste último permitirá, en secciones posteriores, realizar un análisis de la demanda de instrumentos financieros.

#### 4.2.3. Los bonos de catástrofe

Este instrumento financiero amerita una descripción más amplia por sus posibilidades para los gobiernos a nivel nacional, como complemento o como alternativa de transferencia del riesgo. Se trata de activos financieros de renta fija. Como en cualquier otro bono, el inversionista compra un título de cierto valor (principal) que le será devuelto al final de cierto período (fecha de madurez del bono). A lo largo de este intervalo de tiempo, recibe cupones (flujos de efectivo a partir del interés que ofrezca el bono) con cierta periodicidad.

Los Bonos de Catástrofe (Cat Bonds) se diferencian de un bono en su forma más simple, en que están sujetos a riesgo de crédito (riesgo de no pago o *default* por parte del emisor) en todo o parte del principal o de los cupones en el caso de la ocurrencia de cierto desastre natural previamente especificado, convirtiéndose en instrumentos de transferencia de riesgo. En general, en el proceso de emisión de un Bono CAT, las dos partes (emisor e inversionista) utilizan un Vehículo de Propósito Especial (SPV) como intermediario en el proceso de titularización de riesgo a través del bono<sup>1</sup>. Este Vehículo de Propósito Especial es una entidad legal e independiente que emite el Bono CAT, recibiendo un pago de los inversionistas que compran el título. A su vez, el SPV establece un contrato de seguros con la firma aseguradora mediante el cual ésta última se cubre en los riesgos establecidos en el bono a cambio de primas periódicas que son utilizados por el SPV para pagar los cupones al inversionista. La cantidad que recibe el SPV por la venta del bono es depositada en una Compañía de Inversión o Banco de Depósitos (*Trust*) que emiten colateralmente Títulos del Tesoro, que no tiene riesgo de crédito. Las empresas aseguradoras que buscan cubrir su riesgo por medio del bono tiene incentivos para utilizar un SPV debido a beneficios en términos impuestos y requerimientos contables que estos ofrecen, ya que generalmente se ubican en zonas que tiene menos restricciones de este tipo. Por su parte, los inversionistas utilizan el SPV para evitar el riesgo de

---

<sup>1</sup> La titularización de activos se define como la emisión de títulos (en este caso Bonos de Catástrofe) utilizando uno o varios activos como colaterales de la emisión. En este caso los activos que respaldan la emisión son las primas de seguros que se reciben por parte de los asegurados.

solvencia que ocasionalmente puede enfrentar la firma aseguradora (Grossi *et al.* 2005). Los fondos que se obtienen de la venta del bono son invertidos a una tasa libre de riesgo, y los rendimientos de esta última inversión son a su vez utilizados para pagar el interés o cupón del bono. El pago del principal o de los intereses del bono está en función de la ocurrencia o no de una catástrofe, de acuerdo a unos parámetros previamente definidos (características de la amenaza o ubicación de la catástrofe). Es decir, si el evento catastrófico definido ocurre, el emisor del bono paga las indemnizaciones con los fondos del SPV y el comprador del bono deja de recibir parte o el total del principal y los intereses. Si el evento catastrófico no ocurre, los inversionistas reciben el pago del principal y el interés total del bono (interés fijo más la prima que paga el asegurado). La duración típica de los bonos CAT es de 1-5 años con una duración media de 3 años (Cardona 2002; Marulanda *et al.* 2008a). La Figura 4.3 presenta la estructura de funcionamiento de un bono de catástrofe.

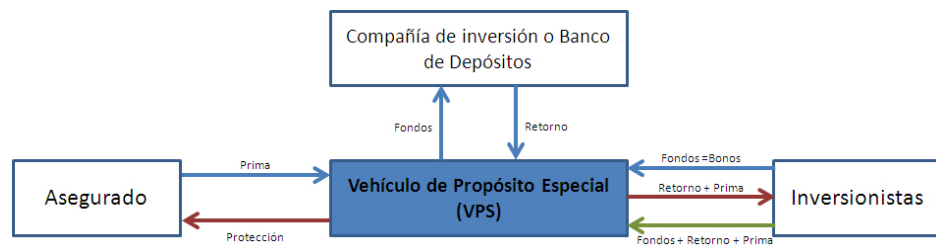


Figura 4.3. Bono de catástrofe

Los mecanismos utilizados para determinar, en el contrato de estos bonos, la circunstancia ante la cual se debe utilizar todo o parte del principal o los cupones para financiar un desastre se denominan *triggers* o disparadores. Estos pueden ser de dos tipos: indemnizaciones por pérdidas o pagos a partir de índices. En el primer caso, la compensación se determina a partir de las cantidades aseguradas por parte de la compañía aseguradora que emite<sup>2</sup> los bonos. Aunque esta alternativa da un buen cubrimiento en pérdidas para el emisor, puede generar problemas de riesgo moral y selección adversa<sup>3</sup>. En el segundo caso, la idea básica es utilizar índices que no puedan ser influenciados por el asegurado, y que tengan una relación directa con el cubrimiento de riesgo de desastre que el bono o título está dando. Ejemplos de estos índices desarrollados en los Estados Unidos se muestran en la Tabla 4.3.

Además de estos índices, se establecen algunos contratos a partir de índices paramétricos que dan información sobre condiciones geológicas o climáticas, como por ejemplo la escala de magnitudes de Richter en el caso de terremoto en un área

<sup>2</sup> Aunque como se mencionó anteriormente en la mayoría de casos el emisor es el SPV, este es solo un intermediario, y quien realmente solicita los recursos en este tipo de transacciones es la compañía aseguradora, razón por la cual se asume que esta es la que emite los bonos.

<sup>3</sup> El riesgo moral, en este contexto, ocurre cuando la parte asegurada descuida las medidas preventivas luego de haber establecido el contrato asegurador, y así puede llegar a reportar pérdidas excesivas. La selección adversa ocurre cuando alguna de las partes en el contrato tiene información adicional a partir de la cual obtiene términos más favorables en dicho contrato (Andersen 2002; Lewis *et al.* 1998).



predefinida. A diferencia del primer caso, en este segundo caso se puede presentar riesgo de base, es decir, el riesgo de que el índice no refleje de manera adecuada las verdaderas pérdidas que la ocurrencia de un desastre ha generado.

**Tabla 4.3. Índices de Catástrofe**

PCS (Property Claim Services)	Esta entidad pública nueve índices basados en pérdidas en California, Florida, Texas y seis regiones más. Las pérdidas están basadas en estudios sobre la industria y visitas de PCS a áreas afectadas por desastres. A diferencia del índice Guy Carpenter, el método de PCS para calcular pérdidas no es transparente.
Indice Carpenter	Este índice mide solamente daños ocurridos a propietarios de inmuebles y está basado en pagos realizados por un grupo determinado de aseguradores en cada región geográfica. El índice está basado en promedios no ponderados de proporciones pérdida/valor reportadas por los aseguradores
RMS (Risk Management Solutions)	A diferencia de los índices PCS y Guy Carpenter, este índice está basado en pérdidas estimadas por medio de modelos. Desarrollado a través de tecnologías para modelar catástrofes, este índice se enfoca en una combinación de tipo de exposición, geografía y peligros.

La emisión de instrumentos financieros como los Bonos CAT permite transferir riesgo hacia los inversionistas privados. Aunque estas innovaciones financieras tienen una historia reciente, no cabe duda que su crecimiento ha sido significativo en los últimos años, mostrando ventajas para los inversionistas y los emisores de los bonos. Para sólo citar algunas cifras, aunque en 1997 se emitieron Bonos CAT por apenas un valor de 510 millones de dólares, dicho monto prácticamente se había multiplicado por cuatro para 2005, es decir, se emitieron Bonos CAT por valor de algo más de 2000 millones de dólares. Si bien un gran porcentaje de las emisiones fueron realizadas por compañías de los Estados Unidos y Japón para coberturas de riesgos de huracanes y terremotos, también se empiezan a utilizar con mayor frecuencia por gobiernos de países en desarrollo como China, México y la provincia de Taiwan (Hofman *et al.* 2006). De especial interés fue la emisión exitosa de un Bono CAT por el gobierno mexicano de US\$ 160 millones de dólares con un tasa de interés de 2 ½ puntos porcentuales por encima de la Libor. El Anexo C describe el soporte analítico actuarial de varias modalidades de Bonos CAT (EERI 2000) y la implementación de un Bono CAT en Estados Unidos por la Swiss Re.

Es bueno recordar que los Bonos CAT presentan algunas ventajas frente a otros esquemas financieros de cobertura de riesgos aunque aún falta tiempo para lograr que se usen con mayor frecuencia. “i) En el bono catastrófico la posibilidad de que el asegurador o reasegurador no pague al gobierno no existe ya que el dinero para el pago de las pérdidas fue entregado por el inversionista al comprar el bono; ii) en caso de ocurrir el evento catastrófico el gobierno cuenta inmediatamente con fondos para hacer frente al desastre y no tiene que esperar el pago por parte del asegurador y reasegurador; iii) el costo para el gobierno del bono podría llegar a ser inferior a la prima de seguro si existiera alguna compañía de seguros dispuesta a asegurar los daños ocasionados por el evento catastrófico; iv) el bono catastrófico no está correlacionado con el mercado

financiero por lo que es útil en la diversificación de carteras de inversión; v) la emisión del bono puede evitar grandes desajustes en el presupuesto del gobierno debido a la ocurrencia de eventos catastróficos que pudieran hacer necesario un incremento en los impuestos o un impuesto especial para financiar el gasto del gobierno en reparar los daños ocasionados por el desastre” (Fernández *et al.* 2005). No obstante, como ya se ha señalado, el Bono CAT no es una alternativa para reemplazar el seguro sino en casos relativamente excepcionales en las capas o coberturas menores. El Bono CAT es sin duda de interés para capas altas y portafolios relativamente grandes, donde el costo del seguro no sería óptimo.

De acuerdo con lo anterior, los gobiernos o los aseguradores pueden convertirse en emisores de este tipo de bonos y transferir parte del riesgo que ellos aseguran al mercado. Además, los inversionistas ven este tipo de instrumentos financieros como alternativas de inversión atractivas debido no solo a que ofrecen un mayor rendimiento, sino también a otros factores, tales como la relativamente baja probabilidad de ocurrencia de un desastre, la ausencia de correlación entre el riesgo de crédito de estos bonos y los movimientos del mercado, y la posibilidad de reducir el riesgo de pérdida vía diversificación de títulos de diferentes zonas (una baja probabilidad de que dos desastres naturales ocurran al mismo tiempo en dos zonas distintas)<sup>4</sup>.

No obstante la innovación y las posibilidades antes mencionadas, existen aspectos que no están del todo resueltos y se prestan para la interpretación por parte de las autoridades económicas en cada país. Por ejemplo, se podría argumentar que un Bono CAT es una deuda que hay que cubrir por parte de un gobierno subnacional y por lo tanto podría afectar su cupo presupuestal. En ese sentido, en términos de factores institucionales en la emisión de un Bono CAT se puede señalar lo siguiente: Los gobiernos subnacionales en particular están sometidos a dos tipos de restricciones financieras: La primera es la restricción presupuestal intertemporal y la segunda son los toques de endeudamiento que le imponen las normas fiscales y el poder legislativo. El endeudamiento es un instrumento esencial que permite que un gobierno subnacional realice sus actividades de inversión en los diversos sectores, por tanto, cualquier límite que se imponga en este rubro podría constreñir las acciones del mismo. La emisión de bonos de catástrofe no debe ser un limitante para la acción de las autoridades de nivel subnacional. Los recursos que se captan de los inversionistas no son para financiar déficit fiscales presentes. De hecho, su objetivo es proveer de recursos líquidos para hacer frente a eventos contingentes futuros, por lo cual se deben ahorrar con el fin de poder cumplir tanto con los compromisos adquiridos con los tenedores de los bonos, como con la reconstrucción de la infraestructura pública dañada después de un terremoto. Adicionalmente, no todo el valor del bono se debe reintegrar a los inversionistas, sólo una proporción del valor del mismo, ello permite ver que un porcentaje del bono puede definirse como una especie de impuesto contingente a la ocurrencia de un evento. Bajo estas circunstancias, la emisión de Bonos CAT no debe reducir el cupo de endeudamiento del gobierno subnacional que lo emite ni afectar la condición de sostenibilidad de mediano plazo de sus finanzas. En realidad, los Bonos CAT son equivalentes a los créditos

---

<sup>4</sup> En algunos casos, la imposibilidad de ocurrencia de dos eventos mutuamente excluyentes en una misma zona también son un atractivo para este tipo de títulos (por ejemplo, sequías e inundaciones).

de balanza de pagos que otorga el FMI los cuales serán efectivos sólo si se produce una crisis de moneda o de balanza de pagos.

#### 4.2.4. Otras opciones de titularización del riesgo

En general, se tienen dos tipos de instrumentos que es importante precisar: instrumentos de financiación e instrumentos de transferencia de riesgo. En los instrumentos de financiación, el emisor del título o instrumento debe devolver en algún momento al inversionista el capital que éste le facilitó a cambio del título, mientras que en los de transferencia de riesgo, el inversionista, a cambio de un retorno más alto, corre el riesgo de perder su capital.

Las notas contingentes (*Contingent Surplus Notes* en inglés) pertenecen al tipo de instrumentos financieros denominados opciones. Las opciones son instrumentos financieros derivados, es decir, que derivan su valor del precio de un activo financiero subyacente o base. En contraste con los contratos de futuros, un contrato de opciones se define como un contrato que otorga el derecho (y no la obligación) de comprar (*call option*) o vender (*put option*) un activo subyacente (como por ejemplo divisas, acciones, bonos e índices entre otros) en una fecha futura a un precio establecido hoy. En un contrato de opciones, participan dos partes: el emisor o vendedor de la opción y el comprador. El emisor vende la opción al comprador a cambio de una prima o precio de la opción, y además, es la parte del contrato que carga con la obligación del cumplimiento de la opción. Por otra parte, el comprador por definición solo adquirió un derecho (y no una obligación), por lo cual su máxima pérdida será la prima o precio que pagó por adquirir la opción.

El precio de una opción en el mercado depende básicamente de seis factores: el precio actual del activo subyacente o base, el precio en el que se valora el activo base en el contrato de opción (*strike price*), el tiempo que falta para la expiración del contrato de opción, la volatilidad esperada del precio del activo subyacente a lo largo del período de vigencia de la opción, la tasa de interés libre de riesgo de corto plazo y finalmente los pagos anticipados en efectivo sobre el activo base. El efecto que cada uno de estos factores tiene sobre el precio de una opción depende del tipo de opción (de comprar o de vender) que se esté analizando.

Los modelos para valorar o determinar el precio de una opción parten de argumentos de arbitraje. Entre los más simples se tiene modelos con formulaciones binomiales, mientras que modelos que buscan determinar con mayor precisión el precio de una opción con el fin de construir portafolios a partir de ello, parten del modelo de valoración de opciones de *Black-Scholes*<sup>5</sup>. Finalmente, hay que mencionar que los beneficios que alguna de las dos partes pueda obtener por cambios de precios en la cotización del activo subyacente, dependen tanto del tipo de opción (derecho a comprar o vender) como de la magnitud de los diferenciales de precios (el precio establecido en el contrato de la opción y el precio de mercado).

---

<sup>5</sup> Modelo matemático desarrollado por Fisher Black y Myron Scholes. Se aplica a las opciones, que son acuerdos para comprar o vender a un precio específico en una fecha futura determinada.

En el caso del riesgo de desastres, las notas contingentes son opciones de venta, el activo subyacente o base son bonos de deuda, los vendedores de esta opción son los inversionistas mientras que los compradores son los aseguradores que desean contar con instrumentos de financiación futuros en el caso de un desastre. Así, estas notas dan al asegurador primario el derecho a emitir bonos de deuda en el caso de la ocurrencia de un desastre<sup>6</sup>, y por su parte los inversionistas tienen la obligación de adquirir estos bonos de deuda en el momento en que el asegurador ejerza la opción. De esta manera, las notas contingentes son un instrumento de financiación, y no de transferencia del riesgo, que puede ser útil en el momento de requerir, ante un desastre, liquidez inmediata.

*Opciones de catástrofe transadas en bolsa:* Como su nombre lo indica son instrumentos financieros derivados (opciones) en donde el activo subyacente o activo base es un índice<sup>7</sup> de la industria (PCS, RMS e índice Carpenter, entre otros) de los seguros que refleja la cantidad de recursos que las empresas aseguradoras han tenido que desembolsar como consecuencia del cubrimiento de sus pólizas (pagos por siniestros). Estas opciones son vendidas por inversionistas y pueden ser adquiridas o compradas por empresas aseguradoras o reaseguradoras. Estas opciones dan entonces el derecho a la empresa aseguradora o reaseguradora a demandar pagos en efectivo por parte del inversionista o vendedor de la opción en el momento en que el índice (activo subyacente) sobrepase cierto nivel. En estos términos, estas opciones de catástrofe son instrumentos de transferencia (y no de financiación) de riesgo de desastres. Para valorar este tipo de opciones, se utilizan también argumentos de arbitraje a partir de los cuales se derivan modelos de tipo binomial y modelos tipo *Black-Scholes*. Finalmente hay que mencionar que estas opciones son transadas actualmente en el Chicago Board Trade (CBOT) y en el Bermuda Commodities Exchange.

*Opciones de catástrofe de patrimonio:* Son opciones de venta (*Catastrophe Equity Puts* en inglés). En este caso, el comprador de la opción son los aseguradores o reaseguradores, mientras que el vendedor de la opción es el inversionista. Estas opciones dan al comprador el derecho a vender participación en su patrimonio a los inversionistas a precios prenegociados. Así, en el caso en que las pérdidas por un desastre excedan cierto nivel, el asegurador ejerce la opción y vende participación en su patrimonio a los inversionistas, obteniendo liquidez inmediata. Por su naturaleza, este tipo de instrumento financiero sirve para financiar riesgo y no para transferirlo. Actualmente son también transadas en el CBOT y en el Bermuda Commodities Exchange.

*Swaps de catástrofe:* Son instrumentos financieros derivados, y se definen como un acuerdo en el cual las dos partes se comprometen a “intercambiar” pagos con cierta periodicidad. La cuantía de cada pago corresponde a una proporción o tasa de un principal imaginario (*notional principal*). En el caso de *swaps* de catástrofes, el asegurador se compromete a realizar ciertos pagos periódicos al inversionista<sup>8</sup>, y a cambio de ello, este último realizará pagos al asegurador en caso de un desastre, o también puede

<sup>6</sup> Aunque también pueden ser incondicionales.

<sup>7</sup> La utilización de un índice en vez de otro activo subyacente puede generar en este tipo de activos financieros, un riesgo adicional llamado riesgo base. Este riesgo consiste básicamente en que el índice no refleje adecuadamente las pérdidas en activos que generó el desastre, generando la posibilidad de no generar cubrimiento en riesgo en ciertos tipos de catástrofes.

<sup>8</sup> En cierta forma, debido a la naturaleza del activo financiero, estos pagos al igual que los realizados con otros instrumentos financieros, son similares a los pagos que un asegurador realiza al reasegurador.

realizar todos los pagos generados por un portafolio de seguros cuando ocurre el desastre. Se utilizan los índices ya mencionados (PCS, RMS, etc) para determinar cuándo el inversionista debe realizar los pagos al asegurador. Este instrumento financiero por sus características puede ser clasificado como un instrumento que permite transferir el riesgo.

*Derivados del clima:* Son instrumentos financieros que derivan su valor de un activo base que en este caso son índices que revelan información sobre condiciones climáticas, como por ejemplo, índices de temperatura, actividad sísmica, de sequía, de inundación, de huracanes, entre otros. Básicamente, este instrumento consiste en un contrato por medio del cual la parte que compra el instrumento recibe pagos en el momento en que dichos índices sobrepasan cierto límite. Así, este instrumento sirve para transferir riesgo.

#### 4.2.5. Retención del riesgo de desastres

Las pérdidas generadas por desastres naturales pueden tomar valores muy altos que pueden llegar a sobrepasar los niveles de cubrimiento de riesgo que se pueden alcanzar utilizando un solo instrumento financiero. Sin embargo, estas pérdidas se pueden segmentar en diferentes rangos o capas, y en cada una de estas capas se puede utilizar un instrumento financiero determinado. De esta manera, en la mayoría de los casos, la mejor opción para el cubrimiento de riesgo por parte del asegurador primario, que puede ser el gobierno, es combinar los seguros/reaseguros con otros instrumentos financieros del mercado de capitales e incluso retener pérdidas con un criterio financiero apropiado, mediante fondos de reservas, créditos contingentes, bonos de deuda o mediante una compañía reaseguradora cautiva *off-shore* de propiedad del asegurado.

En general la retención del riesgo puede ser inconsciente o pasiva, cuando el posible afectado no es conocedor que está en riesgo a causa de la ignorancia o de un examen deformado o superficial de la realidad; esta situación puede ser muy grave. La retención también puede ser forzada debido a que no existe ninguna otra alternativa de eliminación, reducción o transferencia y se debe asumir obligatoriamente con el riesgo. La retención o “no seguro” es una figura que se utiliza cuando no se justifica la cobertura debido, por ejemplo, a la obsolescencia del bien, o porque la posibilidad de pérdida es extremadamente baja y puede ignorarse, o porque la pérdida es tan alta que su transferencia costaría tanto como las pérdidas que se ocasionarían. También, dadas las condiciones de salud económica puede ocurrir que sólo se cubran los riesgos más graves y se renuncie a cubrir los demás. Sin embargo, esta situación indica que un suceso importante podría causar el descalabro económico de los afectados.

También existe el autoseguro, que también se considera una figura de retención del riesgo. Esta estrategia consiste en tomar medidas para el control del riesgo y asumir las pérdidas potenciales. El autoseguro tiene como finalidad mejorar la relación entre primas y garantías ofrecidas por las compañías de seguros y por lo tanto bajar los costos de los riesgos. Algunos consideran que el autoseguro no puede considerarse como una clase de seguro debido a las siguientes razones:

- No existe transferencia de riesgos a otro ente
- No suele basarse en la ley de los grandes números
- Muchas veces no se acumulan reservas para el futuro pago de pérdidas
- Puede obligar a utilizar recursos o reservas destinados a otros fines en caso de pérdidas excepcionales

En este tipo de política interviene el factor “impuestos” dependiendo si las primas de seguros y los pagos realizados por desastre o por riesgos retenidos pueden considerarse como gastos deducibles de los ingresos o si tiene impuestos especiales o no. Usualmente, la creación de fondos y reservas para la retención total o parcial no tienen incentivos, por lo que en muchas ocasiones se ha dicho que es necesario revisar esta situación. A nivel gobierno, es común que al terminar una vigencia fiscal anual sea obligatorio regresar al tesoro nacional los recursos que no se han utilizado y para este tipo de reservas nacionales o institucionales es necesario hacer excepciones a las leyes de presupuesto y buscar figuras que solucionen este tipo de problema. Una alternativa es la creación de cuentas fiduciarias. Esta circunstancia ha sido una de las razones por las cuales en muchos países en desarrollo no ha sido posible crear fondos de reservas eficientes para la reducción de riesgos, la reconstrucción post desastre e incluso para la atención de emergencias. Sin dejar de mencionar que en ocasiones estos fondos no han sido debidamente estimados con base en la evaluación de los riesgos, no es extraño que no reciban los recursos necesarios durante el proceso normal de desembolso del presupuesto. Posiblemente en países en desarrollo es necesario configurar fondos que permitan un balance entre la inversión en reducción de riesgos (prevención-mitigación) y la transferencia de riesgos.

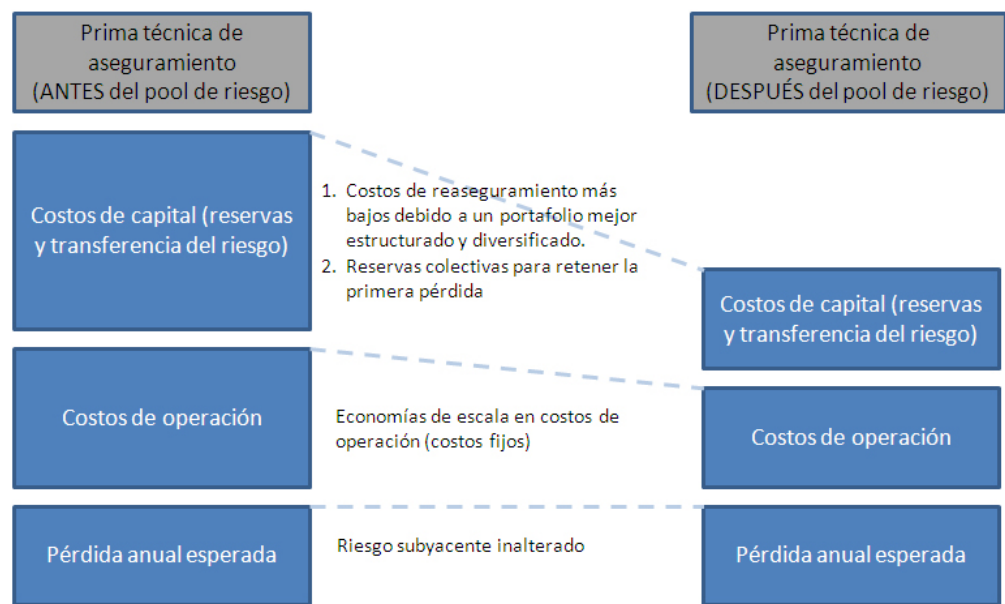
En países desarrollados, debido a la imposibilidad de obtener cobertura aseguradora o de pagar las primas exigidas, el autoseguro parcial ha sido una alternativa factible. Bajo esta figura, se retiene una primera parte de la pérdida a cambio de la reducción del costo de la prima. En principio, este sistema permite, bajo una política estricta de prevención, el abaratamiento del costo del riesgo lo que conlleva al pago de primas menores. Simultáneamente, el propietario pasa a asumir las pérdidas en caso de eventos menores con lo cual la recuperación en caso de este tipo de eventos se lleva a cabo en forma expedita. Al igual que una compañía aseguradora, el “exceso de pérdida” también puede manejarse con autoseguros parciales “a primer riesgo” o “a valor parcial”. Finalmente, estos fondos también pueden operar como compañías de seguros o reaseguros “cautivas”, que son creadas para cubrir sus propios riesgos y otros. Esta figura facilita que las “reservas” se constituyan con las “primas” pagadas y se puede obtener el beneficio del deducible. En general la retención consciente de riesgos es una figura de especial importancia, pues reservas bien conformadas con bases técnicas sólidas, tanto de ingeniería como de análisis financiero, permiten retener ciertos riesgos y negociar con compañías de seguros y reaseguros riesgos residuales e incluso hacer parte de un *pool*<sup>9</sup> (en la Figura 4.4 se representa la efectividad de un *pool*) o hacer parte de una cautiva o participar en el mercado de

<sup>9</sup> Un *pool* es un conjunto de compañías de seguros o de gobiernos para la protección contra riesgos catastróficos. Proporciona una mayor dispersión y un uso más eficiente del capital, por lo tanto representa menores costos de aseguramiento.

capitales. Aunque el seguro de terremoto no es común bajo esta figura, ya existen casos de aseguradoras cautivas como la que se creó con la participación de los gobiernos de 16 países del Caribe para cubrir los gastos de atención de emergencias frente a huracán y terremoto. Estos mecanismos o fondos en la medida que se van acumulando reservas están en capacidad de obtener tasas muy favorables de seguros y reaseguros debido a que comúnmente ofrecen diversidad geográfica y grandes portafolios. En otras palabras, la retención del riesgo es también una opción que podría considerarse cuando existe una buena información de qué riesgos pueden retenerse y cederse. En este caso lo correcto sería estimar el valor de las primas y mantenerlas en un fondo donde se puedan obtener rendimientos. Sin embargo, es necesario revisar las restricciones existentes para mantener reservas de acuerdo con la legislación presupuestal existente en cada país. Existen varios instrumentos financieros de retención o autoseguro y arreglos institucionales que se pueden utilizar.

Un gobierno subnacional o nacional puede promover por lo tanto acciones consistentes en retener parte de su riesgo por medio de mecanismos financieros de retención. Los instrumentos más apropiados podrían ser los siguientes:

*Fondos de desastres:* Las autoridades pueden crear un fondo de recursos destinados a la atención de desastres. Los recursos acumulados en dicha cuenta deben mantenerse en activos líquidos, es decir, en papeles o cuentas bancarias que se puedan cancelar rápidamente sin grandes costos de transacción. En la medida que se demandan los recursos para enfrentar contingencias y eventos catastróficos, las inversiones deben tener bajo riesgo y por ende un pequeño rendimiento. En últimas, deben considerarse como “depósitos a la vista”. Por supuesto, el problema reside en que el gobierno incurre en un costo de oportunidad, pues estos dineros podrían destinarse a otras inversiones con mayores tasas de rendimiento social como la educación, la salud o los programas de empleo. Sin embargo, la decisión dependerá del balance entre los costos y los beneficios marginales de mantener dinero ocioso, mientras sucede lo peor.



**Figura 4.4.** Concepto de precio de aseguramiento y pool de riesgo (Mahul 2011)

Un fondo de desastres o de reservas es un patrimonio autónomo que puede aportar recursos propios para cubrir daños menores o que no serían cubiertos por los seguros cuando las entidades gubernamentales afectadas no tengan la posibilidad de cubrirlos de sus presupuestos. De tomarse la decisión de hacer reservas para cubrir la primera capa de retención o los deducibles, en caso de una negociación masiva se podría esperar el traslado de una partida por cada entidad asegurada al fondo para acumular las reservas que sirvan para atender los daños de la primera capa. También, el fondo podría recibir dichos recursos de las entidades con destinación específica para cubrir sus pérdidas, situación que sería consistente con la figura de que cada una se encargue de hacer los pagos de las primas y de las provisiones para contar con las reservas para cubrir los deducibles. Dicha administración en un fondo de reservas no tendría mayores dificultades y su naturaleza le permitiría jugar el rol.

Igualmente un fondo de este tipo podría recibir el desembolso de un crédito contingente que se contratara con el mismo objeto, dado que se facilitaría a través de este fondo el proceso de contratación de los trabajos de reconstrucción y reparación. Por esta razón, para los desastres menores se puede proponer un fondo con base en una regla de acumulación y gasto óptima que se puede definir con base en estudios de los costos de los desastres menores. El Anexo D presenta una descripción de la manera como debe determinarse la regla óptima de acumulación-gasto. El comportamiento inconsciente de acumulación y gasto de algunos fondos de reservas existentes, cuyos montos anuales disminuyen paulatinamente, es un escenario que indica que no habrá un aumento de desastres menores o un cambio en la tasa de pérdidas en el futuro, lo que podría ser un supuesto muy optimista y poco precautorio. La creación de una o varias subcuentas con el objetivo de hacer acumulación de reservas bien para desastres menores como para cubrir los deducibles o las pérdidas retenidas en caso de desastres



extremos sería de especial relevancia para estimular la cultura del ahorro precautorio que hasta ahora no lo ha tenido el de los fondos de reservas existentes. Esto podría hacerse de manera paulatina, si se justifica bien. Desafortunadamente reservas notables o de acumulación rápida pueden generar la tentación de usar los recursos acumulados para otros fines e incluso críticas debido a los costos de oportunidad que se generan. Es esta la razón por la cual un crédito contingente puede ser una alternativa justificable desde el punto de vista económico, lo que depende del costo de tener dicha disponibilidad. Existen otras posibilidades de fondos de reservas que se pueden diseñar bajo la figura de fondos de compensación por ejemplo para el aseguramiento de municipios pequeños y grandes y con la participación del sector de seguros y el gobierno nacional. Un ejemplo de un fondo de compensación de este tipo se describe en el Anexo E. Algunas de las ventajas de un fondo de reservas para aseguramiento catastrófico son:

- Aumento de la cobertura
- Reducción del costo de las primas
- Constitución de reservas (capitalización)
- Reducción de la volatilidad en el costo del aseguramiento/reaseguramiento
- Pólizas adaptadas a la necesidad del sector
- Estrategia financiera estructurada
- Diversificación
- Economías de escala

*Endeudamiento:* El gobierno puede acudir a los mercados bancarios nacionales o internacionales y pedir fondos prestados ya sea para cubrir los costos directos del desastre o contratar créditos contingentes. En el primer caso, pueden presentarse problemas en la consecución de los recursos, debido a que en una situación de desastre, la demanda de crédito de todos los sectores aumenta, encareciendo los recursos y el riesgo financiero. Los intermediarios estarán menos dispuestos a otorgar empréstitos y posiblemente se agudicen los problemas de racionamiento. Por otra parte, si las pérdidas son excesivas, es posible que el gobierno no pueda conseguir los recursos necesarios y necesite acudir a la ayuda del gobierno central o de la banca internacional, esta última puede incluso ser más adversa a otorgar créditos a la administración central si no existen avales del gobierno central, máxime cuando las calificaciones de riesgo de los bonos de deuda pública prácticamente se han deteriorado significativamente. El problema del crédito contingente es similar al del fondo de desastres, el gobierno incurre en un costo financiero que implica reducir el gasto en otras áreas de mayor rentabilidad social.

Los créditos son utilizados usualmente en la capa o rango más alta (los mayores niveles de pérdida), cuando no hay forma de transferir el riesgo o es necesario limitar la pérdida. En otras palabras, si las pérdidas por un desastre sobrepasan los niveles que ya están cubiertos tanto con reaseguros como con algunos instrumentos financieros, el excedente puede ser cubierto por una línea de crédito de una institución multilateral como el Banco Mundial o el BID. Esta suele ser la última opción utilizada. En estas líneas

de crédito, el asegurador debe pagar una comisión por el acuerdo que generalmente oscila entre 0.25% y 0.375% anual o por un período mayor y que garantiza que la institución prestará los recursos en el momento en que las pérdidas por desastre se presenten o superen un valor. También para este efecto se definen índices paramétricos o disparadores o circunstancias bien definidas como la declaración de un desastre por parte del gobierno nacional.

Esta figura ha sido un mecanismo con el cual los gobiernos pueden facilitar la conformación de consorcios de seguros al contratar créditos que permiten aumentar las reservas disponibles con las cuales se retiene riesgo, pero que no se desembolsan si no se presentan siniestros que impliquen tener que utilizarlas. El ser garante de este tipo de créditos y pagar la comisión hace al Estado un facilitador para que la industria local de seguros crezca, se reduzca el seguro para los ciudadanos y el mismo gobierno y se constituyan reservas que permitirán una mejor posición del consorcio para negociar con los reaseguradores. El Banco Mundial puso a disposición, recientemente, de los países, bajo la figura de libre aplicación inmediata (para programas de inversión, ajuste estructural, etc.), con fines de promoción de la mitigación del riesgo, una línea de crédito contingente denominada CAT DDO (Catastrophic Delayed Joint Down Option). Para el efecto el país debe demostrar contar con una política explícita de gestión integral del riesgo y de inversiones relacionadas (ley de ejercicio presupuestal) y sus recursos son de libre destinación. Este mecanismo en caso de utilizarse como crédito contingente frente a desastres exige un pago por una vez a la firma del contrato del 0.25% y no hay comisiones anuales durante un período de tres años. En caso de presentarse daños la tasa de interés del préstamo es del 2% o si se usa para inversión la tasa es la Libor más 4 puntos (3.5+0,04) con siete años de periodo de gracia y un plazo a 17 años. La Figura 4.5 presenta el proceso de activación de este instrumento. Este instrumento ha sido utilizado por Colombia (USD 150 M -desembolsado), Costa Rica (USD 60 M -desembolsado 75%), Guatemala (USD 85 M -desembolsado- y USD 70 M), Panamá (USD 60) y El Salvador (USD 50 M -desembolsado). También el BID provee una línea de crédito contingente (República Dominicana tomó en 2010 esta modalidad por 5 años por un monto de USD 100 M). Otra figura similar puesta a disposición, también recientemente, por el BID, se denominada PBL (Policy-Based Loan) y corresponde a la posibilidad de obtener un préstamo programático en apoyo a la reforma de la política pública en gestión del riesgo, que se desembolsa de acuerdo con el cumplimiento de una serie de compromisos establecidos entre las partes. El instrumento es flexible y de rápido desembolso y facilita recursos también de libre destinación.



**Figura 4.5.** Proceso de activación del CAT DDO

Es necesario aclarar que las entidades que otorgan las líneas de crédito de este tipo, que en general son entidades multilaterales, dirigen sus esfuerzos a que los países,

de manera autónoma, diversifiquen el riesgo, generen sistemas de incentivos que fomenten la diversificación del riesgo por parte de los agentes privados y promuevan la mitigación del daño físico.

*Emisión de nueva deuda en forma de bonos:* una alternativa para conseguir recursos es la emisión de bonos de deuda pública. Nuevamente, esta fuente de recursos puede verse seriamente limitada si los mercados consideran que la situación fiscal se está deteriorando y por tanto exigen altas primas de riesgo que pueden hacer prácticamente imposible la colocación de nuevos papeles en el mercado.

#### 4.2.6. Cautivas para la retención y transferencia

Una aseguradora cautiva es una entidad corporativa creada y controlada ya sea por una sociedad matriz, una asociación profesional o un grupo de empresas, cuyo único propósito es proveer cobertura sobre los riesgos de dicha sociedad madre, la asociación o del grupo, como una alternativa a la adquisición de seguros en el mercado tradicional. Es un producto interesante y de análisis dentro del competitivo mundo *off-shore*. Las cautivas representan ventajas comerciales para las empresas que las incorporan y capitalizan. Constituyen vehículos idóneos para la reducción de costos (dan cobertura a cambio de primas más baratas y por medio de ellas se contratan directamente reaseguros sin necesidad de adquirir pólizas en el mercado asegurador tradicional); coadyuvan a una mejor y más cómoda administración de los riesgos y facilitan el flujo de caja del grupo económico o sociedad de que se trate, lo cual conlleva crecimiento económico. En síntesis, una compañía cautiva es una empresa de seguros o reaseguros, según la naturaleza de su actividad, organizada por un grupo económico y para beneficio de las empresas que conforman el mismo, constituida de conformidad con una legislación extranjera especial como la de las Islas Bermuda o las Islas Caimán donde existen fuertes emporios de seguros y reaseguros, domiciliados y con oficinas en el país de constitución, desde donde opera, ya sea con infraestructura propia o a través de las facilidades que le brinda una empresa administradora de compañías de seguros o reaseguros cautivas debidamente reconocida y acreditada, con el fin de asegurar o reasegurar, desde el exterior, riesgos del propio grupo económico o empresarial o institución a la que pertenece la aseguradora o reaseguradora cautiva (Marulanda *et al.* 2008a; Cardona 2009).

A través de esta figura o instrumento jurídico los interesados procuran manejar o administrar sus propios riesgos y, a la vez, retener las primas que se pagan por los seguros. Los riesgos a ser asegurados por la compañía "cautiva" son seleccionados, de suerte que los riesgos de importancia son asegurados por compañías de seguros ajenas al grupo económico. Las primas las fija la propia compañía "cautiva" perteneciente a la empresa o empresas contratantes del seguro. Dicha prima es pagada a la compañía de seguros o reaseguros "cautiva" en el exterior, donde ésta se encuentra domiciliada y desde donde asegura el riesgo.

Como se puede apreciar, las aseguradoras o reaseguradoras "cautivas", son instrumentos especialmente diseñados para operaciones extranjeras, con los objetivos específicamente señalados anteriormente, que sólo pueden ser usados por entidades o grupos extranjeros, domiciliados fuera del país donde se constituye la cautiva, ya que

dada la naturaleza, objetivo y funcionamiento de las “cautivas”, el uso de las mismas por una empresa establecida en el país sede del riesgo desvirtuaría la naturaleza offshore. Las compañías de seguros y reaseguros “cautivas” pueden asegurar y reasegurar virtualmente todo tipo de riesgos, de suerte tal que, con la constitución de una de estas compañías, la entidad o grupo propietario de la misma puede transferir a dicha compañía “cautiva”, perteneciente al grupo, parte de sus propios riesgos y dejar otros riesgos asegurados con empresas aseguradoras convencionales.

En general, al respecto de este innovador mecanismo y la posibilidad de utilizarlo por parte de los gobiernos de los países se puede señalar lo siguiente:

- El auto-aseguramiento mediante la figura de la constitución de una cautiva brinda como beneficio explotar las fortalezas de los gobiernos o incluso de comunidad de naciones, como administrador del riesgo. Mediante su debida gestión se puede minimizar al máximo la probabilidad de efectos que en el mediano plazo retornarían al mismo asegurado como resultado de la suscripción sin haber abandonado la necesidad de cubrirse contra la volatilidad del patrimonio frente a los riesgos inherentes del mismo.
- El asegurado es el mismo dueño de la compañía de seguros sin incurrir en todos los costos asociados que se le trasladan en la contratación de una póliza de seguros, por lo cual hace óptimo su beneficio local y a su vez también obtiene beneficios propios de las sinergias que desarrolle con el mercado reasegurador.
- La apertura de la licencia de la “cautiva” la recupera dentro del primer año de vigencia de su póliza y primer año de operación de la aseguradora, en consecuencia en el mediano plazo el crecimiento de su patrimonio estará dado por sí mismo con los beneficios tributarios y de ley al tener la compañía *offshore*.
- En el evento de ocurrir cambios en las políticas del mercado internacional de reaseguro, la compañía se podría beneficiar de las mismas con motivo de los textos y cláusulas particulares que se negocien para la cobertura específica de los portafolios de inmuebles de los países.
- Los gobiernos conforme a su régimen fiscal podría mejorar el retorno de inversión en el extranjero beneficiándose de las oportunidades que le otorga tener un patrimonio *offshore*.
- Aquellos riesgos de difícil aseguramiento o cuyos costos sean altos podrían ser beneficiados a través de la cautiva por la mejora en costos, como consecuencia de la vinculación existente con otros riesgos y la retención que puede practicar en vista del patrimonio que posee, llegando hasta retener el 100% y eliminado así la dependencia del mercado local.
- No se debe descartar que en general los gobiernos a través de la figura de una cautiva podrían involucrar otros riesgos de las mismas características, como por ejemplo bienes inmuebles de otras jurisdicciones o entidades que permitieran aumentar la diversificación del riesgo y obtener todavía más ventajas dentro de la contratación de sus estructuras de transferencia de riesgo. Se podrían así mejorar las asignaciones y ejecuciones presupuestales de cada periodo fiscal. Igualmente, se podría explorar la

posibilidad de vincular sectores marginados de la sociedad dentro de una política de aseguramiento a costos alcanzables, lo que se podría lograr a través de esta figura involucrando mecanismos de subsidio total o con la participación inclusive del sector privado.

- Dentro de las negociaciones de cobertura se pueden involucrar todos los activos de los gobiernos nacionales y subnacionales y de las empresas de servicios públicos para efectos de obtener beneficios de precio y alcance de cobertura, optimizando el presupuesto público.
- Para efectos de simplificar el sistema de contratación de seguros sólo sería necesario licitar o hacer invitación privada a aquellas sociedades corredoras de reaseguro que tengan la experiencia comprobada en la constitución de sociedades *offshore* para así procurar la estructuración de la estructura de transferencia óptima en cuanto al alcance y beneficio y, sobre todo, sin incumplir con las políticas de aseguramiento y reaseguramiento establecidas por las superintendencias financieras o de seguros.

Finalmente, a pesar de las ventajas comparativas de retener el riesgo con este tipo de mecanismos, debido a que son muy recientes en el mercado mundial y dadas sus características de acumular reservas fuera del país, puede ser un proceso dispendioso el estar haciendo su justificación frente a personas no conocedoras y frente a la opinión pública en el caso de críticas que surjan como resultado del cuestionamiento normal o de mala intención de detractores políticos de los gobiernos vigentes. Por esta razón, aunque esta alternativa sería actualmente la de mayor eficiencia financiera se recomienda promoverla en forma paulatina para que en un mediano plazo se adopte por los países o por las comunidades de países como entes subregionales convocantes y coordinadores.

## Capítulo 5.

### **PROTECCIÓN FINANCIERA A NIVEL GUBERNAMENTAL**

Durante los últimos años se han realizado importantes transformaciones en la legislación y la institucionalidad para la gestión del riesgo en muchos países. A pesar de esto, no solo en países con escasos recursos presupuestales es difícil encontrar medidas financieras que le den sostenibilidad a dicha gestión particular. Desde la perspectiva de la gestión financiera, no sobra advertir que en varios países no se cuenta con mercados financieros bien desarrollados y mucho menos con una cultura de aseguramiento. Aparte de las opciones financieras tradicionales, que están enfocadas principalmente a la respuesta a emergencias, no existe un avance importante en el tratamiento de nuevas opciones financieras (Cardona *et al.* 2005a).

Desde la perspectiva de la transferencia del riesgo, en general, los gobiernos manejan su riesgo financiero frente a desastres típicamente a través de seguros y mediante el autoseguro (que es un mecanismo de retención del riesgo). El seguro de los inmuebles públicos del orden nacional usualmente se contrata en forma independiente por cada entidad gubernamental y no existe una estrategia preestablecida que oriente el proceso de contratación de los seguros buscando eficiencia. Igualmente, la retención de riesgos es fundamentalmente inconsciente o es causa de la falta de recursos presupuestales. En general, no obedece a una estrategia de conveniencia para las entidades públicas y prácticamente a nivel de las entidades territoriales, con algunas excepciones, no se aseguran los bienes fiscales.

No existen datos precisos de qué porcentaje de las edificaciones públicas en los diferentes países tiene alguna cobertura de protección contra desastres, y se acepta que en general éste porcentaje es bajo o moderado, y se considera que la infraestructura está totalmente desprotegida. Es decir que el Estado está reteniendo el costo total de las pérdidas en caso de presentarse un desastre. Ahora bien, una de las maneras como se han cubierto las pérdidas de los inmuebles públicos ha sido la estrategia *ex post* de recaudar impuestos en caso de desastres. Esta no es más que una figura de seguro basada en la comunidad, en la cual todos los residentes terminan pagando en forma compartida una porción de dicho seguro.

A continuación se presenta una revisión y análisis acerca de los mecanismos de retención y transferencia del riesgo que se han utilizado por parte de los gobiernos en la mayoría de los países y se hace énfasis en la región de América Latina y el Caribe. Igualmente se hace referencia a varios casos recientes que hasta el momento se consideran ilustrativos e incluso exitosos, no obstante que hay que esperar qué

evolución tengan en los próximos años. Finalmente se presenta una serie de recomendaciones de política que pueden contribuir para avanzar en el impulso de la protección financiera frente al riesgo de los desastres y exposición fiscal que representa para los países,

### **5.1. Mecanismos de retención a nivel gubernamental**

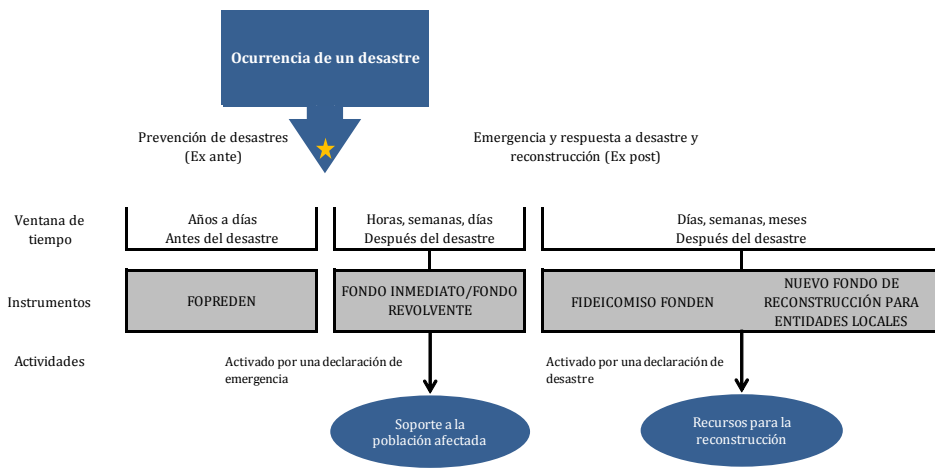
En la mayoría de los países, las actividades relacionadas con la reducción del riesgo se llevan a cabo mediante el presupuesto ordinario de las distintas instancias gubernamentales involucradas, sin que exista una partida específica para ello. Los organismos coordinadores reciben recursos regulares para su funcionamiento u operación, que en su mayoría son insuficientes frente a sus funciones, entre las cuales se incluyen actividades de divulgación, educación e información pública. En varios países se dispone de un presupuesto anual que sirve para sufragar sus gastos administrativos y programas regulares de educación y capacitación, alerta temprana etc. y tienen un fondo para cubrir necesidades inmediatas de damnificados por desastre. Incluso se han creado Fondos de Calamidades o de Gestión del Riesgo con un porcentaje definido del presupuesto anual, pero la norma no se cumple debidamente. En Colombia, por ejemplo, la legislación señala que todas las entidades públicas deben incluir en sus presupuestos partidas para la prevención y atención de desastres, sin embargo, no se ha señalado en qué porcentaje ni explícitamente que tipo de actividades o inversiones son las que corresponden a este rubro. Por esta razón, después de una experiencia de más de quince años, se ha llegado a la conclusión que al menos se debe definir explícitamente un porcentaje del presupuesto de las entidades tanto sectoriales como territoriales para la gestión de riesgos, dado que la obligatoriedad actual de incluir alguna partida presupuestal sin especificarla no es garantía de la asignación de recursos apropiados (ERN-Colombia 2005, 2006).

A nivel territorial los casos de las ciudades de Manizales y Bogotá en Colombia, han sido dos buenos ejemplos de asignación específica de recursos para la gestión del riesgo. En el primer caso se tiene establecido que al menos el 1% de los ingresos corrientes de la ciudad y de las entidades descentralizadas deben trasladarse al fondo local para la gestión del riesgo; sin embargo, cada secretaría de la administración municipal cuenta con recursos para dicho efecto, lo que puede significar que aproximadamente el 2% o más de los ingresos del municipio se utilizan para este propósito. Por otro lado, se encuentran los aportes de la Corporación Autónoma Regional del Medio Ambiente para obras de estabilidad, que provienen de una sobretasa ambiental que se cobra con el impuesto predial y corresponde al 2% del valor de la propiedad, y del cual el 0.5% es invertido en la identificación y reducción del riesgo. En el caso de Bogotá, está establecido que la suma anual del fondo para la gestión del riesgo de la ciudad no debe ser inferior al 0.5% de los ingresos corrientes tributarios de la administración central de la ciudad. Definir al menos un porcentaje mínimo de asignación presupuestal, así como explicitar o reglamentar en qué tipo de acciones se pueden ejecutar los recursos, se considera una buena práctica que podría resultar positivo promoverla en diferentes países (Cardona *et al.* 2005a).

En relación a los fondos de reservas para emergencias (que son un mecanismo de retención del riesgo), aunque son sólo uno de los instrumentos de la política de gestión de riesgos, es importante señalar que han sido en general uno de los mecanismos financieros más utilizados en la mayoría de los países. No se requiere hacer un estudio detallado para reconocer que los recursos que se destinan para estos fondos han sido insuficientes. Sería deseable que los fondos de reservas para emergencias se rijan por una regla óptima de acumulación y gasto con base en la cuantificación de los efectos de los desastres menores recurrentes (por ejemplo utilizando la base de datos DesInventar desarrollada por La RED), sin embargo esto no se hace en ningún país.

Ahora bien, el ejemplo posiblemente más notable de un fondo de reservas para emergencias es el caso del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) creado en México en 1996 y operacional en 1999. El objetivo del fondo es prevenir desbalances en las finanzas del gobierno derivadas de los desembolsos para la rehabilitación y reconstrucción de infraestructura pública federal, estatal y municipal, de viviendas de bajos recursos y de ciertos componentes del medio ambiente natural (bosques, áreas naturales protegidas, ríos y lagunas). El FONDEN aporta, dentro de las disponibilidades presupuestarias, recursos adicionales a las dependencias y entidades federales, con objeto de que la atención de los desastres no afecte en lo posible a sus programas y proyectos normales en curso. Los objetivos de este fondo posiblemente son lo más completos en términos de atención de emergencias y reconstrucción y pueden ser ejemplares para otros países. El programa original es el de la reconstrucción, sin embargo a principios del año 2000 se reconoció la necesidad de promover la gestión de riesgo de desastre *ex ante*, y el gobierno de México comenzó a asignar fondos para actividades de prevención. El FOPREDEN es complementario al fondo para la atención de desastres. El FONDEN está constituido a través del presupuesto federal de gastos. La ley rige que debe estar disponible mínimo un 0.4% del presupuesto federal anual para el FONDEN, FOPREDEN y para el fondo de agricultura a principio de cada año fiscal. Cuando la apropiación es insuficiente, la ley estipula que se deben transferir recursos adicionales de otros programas o fondos como el superávit de ingresos del petróleo. El FONDEN es responsable de distribuir los recursos de acuerdo a las reglas de operación. Cualquier fondo que no haya sido utilizado al final del año fiscal se transfiere al fideicomiso (80% de fondos no utilizados) y a FOPREDEN (20%) como reservas para usar en años subsecuentes (Cardona *et al.* 2005a; Cardenas *et al.* 2007, Secretaría de Gobierno de México 2004). En la Figura 5.1 se ilustra el papel de los instrumentos del FONDEN y en la Figura 5.2 se presentan los desembolsos de recursos desde 1999 hasta 2011 del fondo.





★ Todos los planes y programas federales son activados para la respuesta al desastre

Figura 5.1. Papel de los instrumentos del FONDEN en el Sistema Nacional de Protección Civil de México. Fuente: Secretaría de Gobierno de México 2004

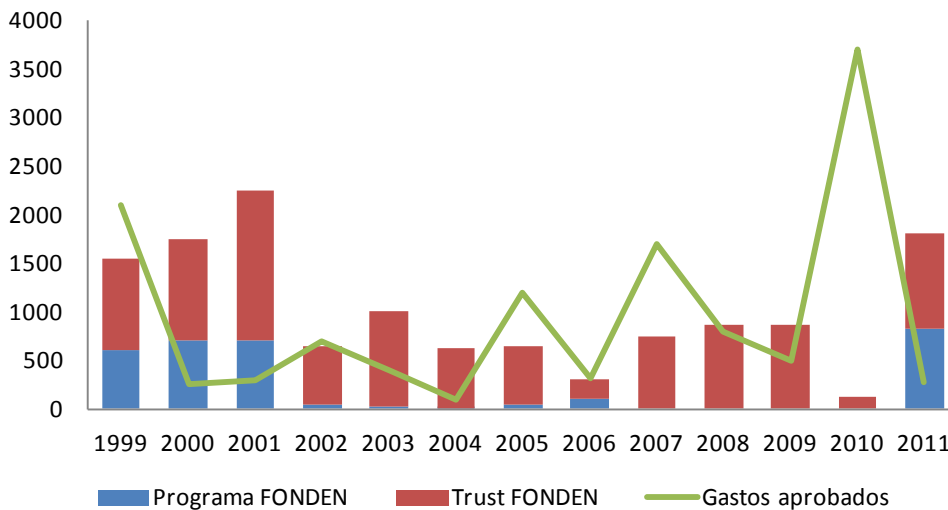


Figura 5.2. Recursos y gastos del FONDEN, 1999-2011 (en dólares constantes 2011). Fuente: Secretaría de Gobierno de México 2004

Ahora bien, las transferencias de los gobiernos nacionales a los gobiernos territoriales se realizan con y sin contrapartida<sup>1</sup>. La manera más adecuada para promover la gestión de riesgos sería, por una parte, definiendo un valor fijo de las transferencias condicionadas sin contrapartida y/o mediante aportes o subsidios con algún nivel de contrapartida. Sin embargo, es necesario considerar que para promover la gestión del riesgo de una manera coherente y no dispersa es necesario reconocer la existencia de grandes diferencias en términos de desarrollo regional, riesgo de desastre y recursos de las entidades territoriales en cada país. Los gobiernos subnacionales, con algunas excepciones, cuentan con un estrecho margen de maniobra y una baja resiliencia económica para atender sus gastos de inversión y otros rubros como los gastos relacionados con la gestión de riesgos. En la medida que las necesidades de infraestructura y gasto social son de urgencia, prácticamente lo que se destina para la gestión del riesgo es lo mínimo.

La descentralización fiscal en la mayoría de los países está enmarcada por la concentración de la actividad económica en unos cuantos municipios y departamentos, lo cual trae como consecuencia la concentración de los ingresos fiscales. Es importante hacer un esfuerzo para identificar las inversiones tanto provenientes de recursos propios de los municipios como de las transferencias del nivel nacional con libre destinación. Esta identificación de los rubros de inversión en el desarrollo que se pueden asimilar como acciones preventivas, es muy importante para efectos de tener una noción de la inversión que se pueda considerar gestión del riesgo pero que hasta ahora no se ha identificado como tal. Estas iniciativas se consideran acertadas y recomendables en los países que tienen este mismo sistema de transferencias y donde se pueden promover procesos de cofinanciación. De esta manera, se establecería explícitamente, por una parte, que el gobierno central no va a cubrir todos los costos en caso de emergencia (y así evitar el dilema del Samaritano), lo que conduciría a que se tenga que pensar en hacer “algunas” provisiones (creando cuentas o fondos municipales, provinciales o estatales) y, por otra parte, que en materia de identificación, reducción y transferencia del riesgo el gobierno central no sería el primer responsable de realizar proyectos a nivel subnacional, pero que se podría contar con su asesoría técnica y con un apoyo económico parcial para impulsar dichos proyectos. Claramente, para poder hacer esto se requiere que explícitamente haya una adecuada destinación de recursos del presupuesto nacional tanto para promover la cofinanciación mediante fondos, así como también para las partidas presupuestales que se establezcan en las entidades nacionales sectoriales (CEDERI 2002, 2005).

Adicionalmente, en la mayoría de los países, los proyectos ejecutados por organismos no gubernamentales, asociaciones de municipios y otro tipo de asociaciones comunitarias o de base, operan con fondos provenientes de la cooperación internacional, representando un importante porcentaje de los recursos que se invierten en gestión del riesgo, particularmente en programas de atención de emergencias y

---

<sup>1</sup> Las transferencias sin contrapartida pueden ser condicionales y otras son para la libre inversión a nivel subnacional. Usualmente las transferencias condicionales sin contrapartida corresponden a un valor fijo que tiene un propósito establecido por ley. Los recursos o subsidios con contrapartidas o programas de costo compartido son transferencias condicionales que requieren que los fondos se gasten en forma específica y que se aporten recursos de contrapartida.

reconstrucción. Existe una alta dependencia que se ha generado de la obtención de recursos externos, lo que de suyo hace insostenible la gestión del riesgo. Ningún país puede reducir el riesgo de desastre, esperando que un desastre ocurra para recibir fondos que le permitan instrumentar medidas para la reducción del riesgo de los desastres futuros. Sobre todo en países con las características sociales y económicas, donde las carencias son tan severas que cada vez se hace necesario contar con mayores recursos para cualquier tipo de actividad. Aunado a esto se encuentra el hecho de que los proyectos ejecutados con estos fondos, responden a las agendas de los donantes y no a las necesidades del propio país, lo que genera una dispersión –y muy frecuentemente duplicación– de esfuerzos.

## **5.2. Instrumentos de transferencia a nivel gubernamental**

Con relación al aseguramiento del sector privado, es necesario decir que el seguro en la región de América Latina y el Caribe representa actualmente sólo entre el 1.5% y el 2% de las primas de seguros recaudadas a nivel mundial. Hay diferentes razones por las cuales el mercado de seguros no está bien desarrollado; en parte, se debe al hecho de que importantes porciones de la economía son informales, los individuos tienen pocos activos que asegurar o el seguro no ha sido una parte tradicional de la cultura. Con frecuencia, la falta de desarrollo del mercado de seguros se debe a la falta de familiaridad con el seguro o porque funcionan pobremente y, por lo tanto, no son competitivos. El nivel de capacitación y profesionalismo es deficiente, lo que impide la formación de un mercado robusto. La hiperinflación en los años 90 ha sido otro factor que ha tenido un efecto negativo porque en el pasado ha llegado a diezmar en algún grado los valores de reemplazo. También se han presentado problemas con aseguradores o con sus agentes porque no han realizado el debido pago de pérdidas aseguradas o no lo han hecho a tiempo a criterio de los usuarios. No obstante en varios países se hacen esfuerzos para mejorar y promover el seguro en los privados (Cardona 2002; Cardona 2009), como en el caso de Colombia, donde recientemente se aprobó el decreto de terremoto<sup>2</sup> donde se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se definen normas sobre las reservas técnicas para el seguro de terremoto y para reglamentar el uso de modelos técnicos de riesgo catastrófico. En el Anexo F se presenta el decreto mencionado.

Por otra parte, la demanda por reaseguros es muy limitada debido a que los contratos suelen ser excesivamente onerosos por la precariedad de la información disponible. Un sistema de información más confiable y accesible facilitaría la expansión del mercado de este tipo de contratos. En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe es obligatorio tomar un seguro contra terremoto cuando se tiene deuda hipotecaria. En Colombia, uno de los aspectos que se corrigieron, es que hasta hace algunos años sólo se cubría el valor de la deuda hipotecaria, lo que protegía

---

<sup>2</sup> El decreto se limitó a la amenaza sísmica, pues se considera como una envolvente suficiente para poder cubrir otros tipos de desastres dado que las pérdidas no se correlacionan igual. En el caso de sismos el deducible es del 3%, mientras que para otros eventos es del orden del 10%.

financieramente únicamente a la entidad que facilitaba el crédito; actualmente se cubre la totalidad del valor de la propiedad, lo que también significa protección para el deudor. Actualmente, también es obligatorio asegurar las áreas comunes. Sin embargo es preocupante que una vez terminado el crédito hipotecario un porcentaje importante de propietarios no asegura su vivienda ni sus contenidos. Esta situación puede deberse en parte a la falta de información de los usuarios, razón por la cual, para ampliar la cobertura de los seguros siempre se ha reiterado la necesidad de hacer amplias e intensas campañas de divulgación que bien podrían ser reforzadas, en parte, por el gobierno.

En conclusión, aunque los países incluyen en su presupuesto algunas partidas, principalmente para la atención de emergencias y el presupuesto de funcionamiento de algunas entidades, y en algunos casos se hacen esfuerzos para orientar recursos hacia actividades de planificación referidas a la mitigación del riesgo, en la mayoría de los países no contabilizan las pérdidas probabilistas por fenómenos naturales como un componente permanente de su proceso presupuestario. La efectividad real de las estructuras interinstitucionales creadas en varios países, sus recursos financieros, los grados de participación y su apoyo son fluctuantes y muchas veces deficientes al tratar el tema de la reducción del riesgo. Sigue válida la afirmación de que el problema de desastre es realmente importante solamente cuando sucede un evento de cierta magnitud y la solidaridad exige una respuesta gubernamental importante. Las intervenciones han sido puntuales y por proyecto y producto mientras lo que se requiere es el apoyo a procesos en períodos de tiempo más largos de los que se han suscitado hasta el momento.

### **5.3. Experiencias recientes a nivel nacional e internacional**

#### **5.3.1. Facilidad de seguro de riesgo catastrófico para el Caribe (CCRIF)**

Los gobiernos pertenecientes al CARICOM, por intermedio y con la ayuda del Banco Mundial, crearon en el 2007 el CCRIF (*Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility*) como un mecanismo de reservas de conjunto diseñado para proveer de liquidez a corto plazo, justo después de la ocurrencia de un desastre en alguno de los 16 países participantes<sup>3</sup>. Se estructuró como un instrumento de aseguramiento para proporcionar cobertura de las pérdidas causadas por ciclones tropicales o terremotos. El CCRIF fue creado al reconocer la significativa carga fiscal que imponen los desastres en la capacidad financiera de los gobiernos debido a la falta de liquidez existente después de un desastre.

Cada país participante paga una prima de aseguramiento directamente relacionada con la cantidad de riesgo que se transfiere al CCRIF y cada uno adquiere una cobertura máxima de US\$100 millones en un año para cada amenaza asegurada

<sup>3</sup> Los dieciséis países actualmente miembros del CCRIF son: Anguilla, Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Belice, Bermuda, Islas Caimán, Dominica, Granada, Haití, Jamaica, St. Kitts y Nevis, St. Lucía, St. Vincent y las Granadinas, Trinidad y Tobago e Islas Turks y Caicos.

(ciclones tropicales y terremotos) De esta forma los gobiernos participantes pueden conseguir cobertura semejante a la pérdida tras la ocurrencia de un evento catastrófico.

EL CCRIF es una herramienta que permite acceder al mercado financiero internacional colocando en una cartera común y diversa los riesgos específicos de cada país. El CCRIF funciona como instrumento asegurador reteniendo parte del riesgo cedido por los países adscritos y de intermediación entre estos y el mercado reasegurador internacional. Mediante el agrupamiento de los riesgos de los diferentes países miembros del CCRIF dentro de un portafolio único diversificado, el reaseguramiento necesario es significativamente más bajo (ver Figura 5.3) y, por lo tanto, permite reducir más de la mitad el precio de la prima que si cada país adquiriera una cobertura idéntica individual.

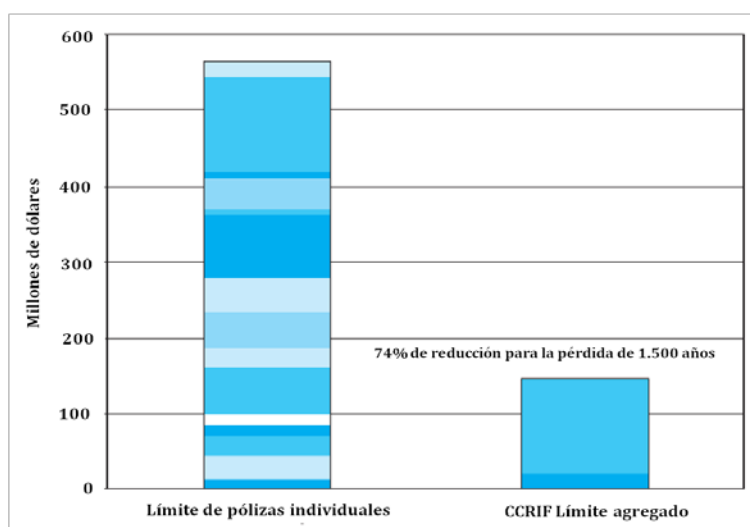
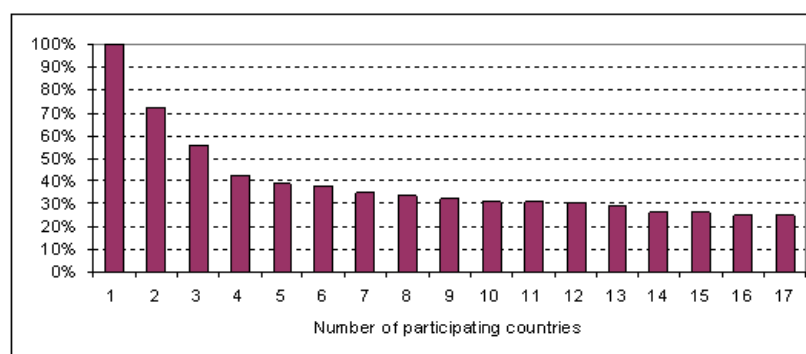


Figura 5.3. Costos de aseguramiento individual y agregado (CCRIF). Fuente: CCRIF 2012

Actualmente este mecanismo sólo funciona para la amenaza por huracán (vientos fuertes) y por sismo (aceleración del terreno). La Figura 5.4 ilustra como las primas cobradas por el CCRIF, con la participación de todos los países (actualmente 16), son cerca de la mitad de los que daría el mercado por cobertura individual (Cummins *et al.* 2009).



**Figura 5.4.** La prima se reduce en la media que participan más países

Este *pool* de seguros es un intermediario entre el mercado de reaseguro y el asegurado final. Con suficientes reservas dicho *pool* puede negociar el costo de transferencia del riesgo (el seguro catastrófico es en general muy volátil) mediante cambios en el nivel de retención de riesgo. A medida que el nivel de reservas aumenta también aumenta su capacidad de retener riesgo proporcionando cada vez más estabilidad frente al mercado internacional.

El CCRIF es un instrumento de aseguramiento paramétrico que desembolsa los pagos con base en la ocurrencia de un nivel de intensidad predefinido del evento, lo que permite desembolsos más rápidos que el seguro tradicional, lo que es conveniente para los gobiernos del Caribe dado que este seguro funciona básicamente como un fondo de reserva, por lo que se hace necesaria la liquidez rápida que con el seguro tradicional no se lograría dado el tiempo de cálculo del valor real de la pérdida.

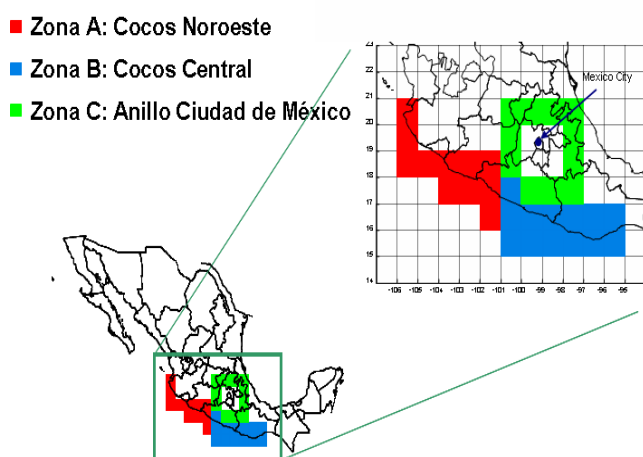
La estructura operativa del CCRIF está por un Consejo compuesto por representantes de los donantes y de los países participantes, asesorado por una firma especializada (*front-office*) en gestión de riesgo, asuntos financieros, gestión de pólizas, recaudo de primas y liquidación de indemnizaciones. También cuenta con un gestor cautivo para realizar funciones de *back-office* bajo la legislación de las Islas Caimán. El CCRIF es una entidad legal independiente registrada como compañía de seguros de propiedad del consorcio comercial *CCRIF trust* domiciliados en las Islas Caimán.

El respaldo financiero del sistema proviene de las cuotas de participación de cada país, que es igual a la prima anual correspondiente a cada uno. Adicionalmente se conformó el *CCRIF Multidonor Trust Fund* para los posibles socios donantes, este es administrado por el Banco Mundial. Los desembolsos y/o pagos se destinarán a gastos operativos, primas de transferencia y responsabilidad de pago de siniestros.

### 5.3.2. Bono CAT de México

En mayo de 2006 el gobierno mexicano a través del FONDEN (tomador) puso en marcha, con el respaldo de la Swiss Re, una solución paramétrica combinada de seguro (USD 140 millones) y un bono de catástrofe (USD 160 millones). El Cat-Mex se

implementó para un lapso de tres años, como una estrategia financiera de transferencia de riesgo, con el fin de contar con los recursos necesarios para atender a la población que resulte afectada por un terremoto de graves consecuencias. Este bono CAT es una mezcla de un seguro paramétrico tradicional y de un bono paramétrico que cubre terremotos en tres zonas específicas como lo ilustra la Figura 5.5.



**Figura 5.5.** Zonas que disparan el seguro y el Cat-Mex. Fuente: FONDEN

El bono y el seguro se pagan si en las zonas A y B se presenta un terremoto igual o superior a una magnitud 8 Mw, a menos de 200 km de profundidad, o de una magnitud 7.5 Mw en la zona C a una profundidad menor de 150 km. El bono CAT de México se diseñó para transferir el riesgo a los inversionistas permitiendo al país que en caso de un desastre mayor no tenga que pagar el capital del bono (Cardenas *et al.* 2007).

Dada la necesidad de diversificación de riesgos regionalmente y de múltiples tipos de desastres, en octubre de 2009 se emitió en México un bono de múltiples riesgos (terremotos y huracanes) denominado MultiCat México en el marco del programa MultiCat desarrollado por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) del Banco Mundial, en asociación con el gobierno de México y SwissRe. La Figura 5.6 presenta la estructura operacional de este instrumento. El MultiCat consiste en el mejoramiento de la cobertura por sismos, variando el CatMex en cuanto a detonadores más bajos para cubrir más eventos y ampliando las regiones de cubrimiento. Adicionalmente, extiende la cobertura por huracán tanto en la costa del Pacífico como del Atlántico. La cobertura del MultiCat brindó protección por un total de USD290 millones (USD140 millones para sismo y USD150 millones para huracanes) y su duración de tres años. En octubre de 2012 se emitió el tercer MultiCat por USD315 millones (USD140 millones para sismo, USD100 millones para huracanes que impacten varias zonas de la costa del Océano Pacífico de México y USD75 millones si los huracanes ocurren en distintas zonas costeras nacional del Océano Atlántico y el Golfo de México), con una vigencia de tres años, como en los bonos emitidos anteriormente. A diferencia del bono

emitido en 2009, el MultiCat vigente amplió el monto y la cobertura geográfica (Pérez Maldonado 2010).

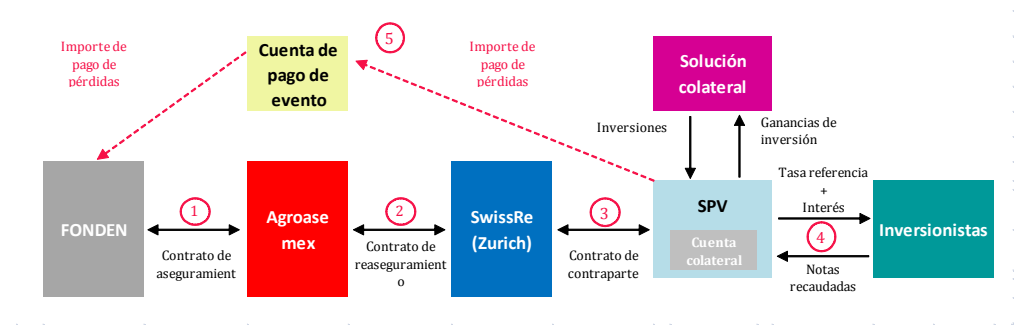


Figura 5.6. Estructura operativa MultiCat México. Fuente: FONDEN

### 5.3.3. Aseguramiento colectivo voluntario en Manizales

En la actualidad, la ciudad de Manizales, cuenta con una póliza colectiva de seguros voluntarios para proteger los estratos de población más pobre. Se trata de una alianza en la cual la administración municipal facilita –mediante sus procesos de sistematización de información– el cobro y recaudo de un seguro de daños a causa de desastres para cada predio de la ciudad de acuerdo con el valor catastral del inmueble. Este cobro –que es voluntario– se ha realizado utilizando la factura del impuesto predial unificado. La Figura 5.7 ilustra un aviso de promoción de este seguro colectivo.

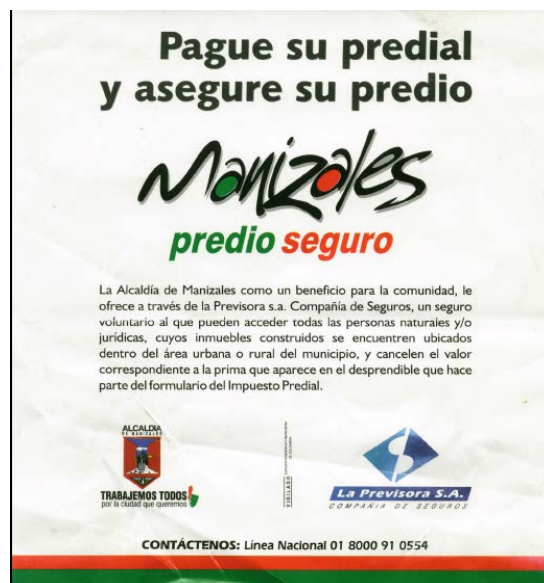


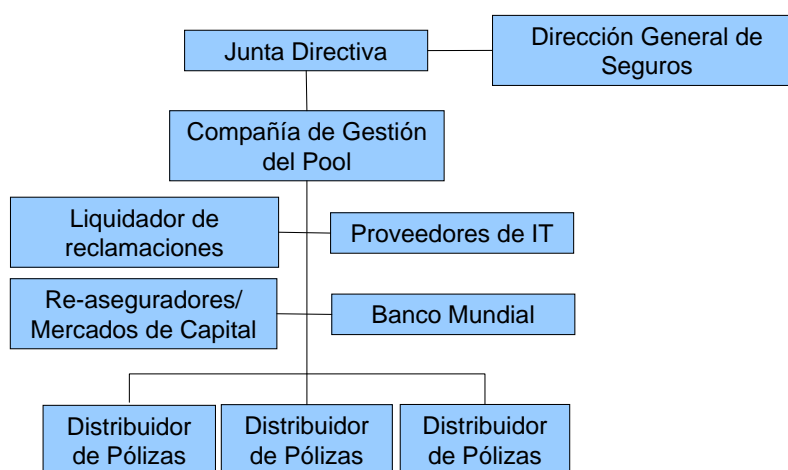
Figura 5.7. Propaganda del seguro por parte del municipio y la compañía de seguros



En este programa, denominado "Manizales predio seguro", la prima anual que se estimó y se acordó originalmente con la compañía de seguros es del 2.2 ‰ del valor del cada inmueble. El deducible es del 3% del valor de la pérdida en caso de terremoto y un mínimo de tres salarios mínimos mensuales vigentes (SMMLV). En el caso de otros fenómenos naturales o eventos como huelga, motín, asonada, conmoción civil o popular, actos mal intencionados de terceros o terrorismo el deducible se acordó en un 10% de la pérdida del inmueble afectado y un mínimo de dos SMMLV. La compañía de seguros (La Previsora) emitió una póliza matriz, cuyo tomador es el Municipio de Manizales, la administración municipal se limita al recaudo de las primas y la compañía de seguros es el organismo que tiene la relación contractual directa con el asegurado y por lo tanto es quien soluciona y tramita las reclamaciones derivadas de la póliza. Actualmente con un prima de 2.5 ‰ del valor del cada inmueble que paga el impuesto predial y con un porcentaje de participación del orden del 15% del total de los inmuebles (no entran los que tienen deuda hipotecaria que pagan el seguro obligatoriamente) están cubiertos en su totalidad los estratos sociales de más bajos ingresos de la ciudad que están exentos además del pago del impuesto a la propiedad (ITEC 2004; INGENIAR *et al.* 2005; Marulanda 2009).

#### 5.3.4. Pool Turco de Seguro de Catástrofe (TCIP)

El TCIP (*Turkish Catastrophe Insurance Pool*) se implantó el 27 de diciembre de 1999, después del terremoto del Mar de Mármara. El TCIP es una entidad pública legal, para ofrecer seguros obligatorios de terremoto a las propiedades residenciales. El proyecto fue asistido por el Banco Mundial en relación al diseño del programa de aseguramiento que fuera capaz de gestionar su exposición catastrófica a nivel nacional. Se trata de un sistema de aseguramiento creado para garantizar la compensación de los daños materiales sobre las viviendas, producidos por terremotos y tiene como objetivos principales: Proporcionar cobertura de terremoto a todas las viviendas obligadas de contratar dicho seguro a cambio de una prima asequible; proporcionar un mecanismo de reparto del riesgo dentro del país, transfiriendo parte del riesgo al mercado internacional y al mercado de capitales; reducir la carga financiera del Estado como consecuencia de las pérdidas por terremoto; utilizar el sistema asegurador como instrumento para mejorar la calidad de la construcción de las viviendas; garantizar la acumulación a largo plazo de un fondo para compensar daños por terremoto; contribuir a la toma de conciencia del riesgo por parte de la sociedad y evitar un eventual aumento de impuestos debido a la alta recurrencia de pérdidas por terremoto y otros desastres en el país. La estructura del TCIP se muestra en la Figura 5.8.



**Figura 5.8.** Estructura organizacional del TCIP

A través de este programa el gobierno de Turquía intenta reducir sus obligaciones de apoyo a los propietarios de apartamentos y casas, para reconstruir sus edificaciones después de un terremoto. De acuerdo a la ley, no habrá compensación del gobierno en forma de créditos para vivienda o reconstrucción de los edificios afectados. El cumplimiento de las pólizas obligatorias se vigila exigiendo a los propietarios que presenten sus documentos de seguro para cualquier transacción de finca raíz y también cuando se abren cuentas de agua, gas natural, electricidad y servicios de telecomunicaciones. La cobertura del seguro incluye terremoto, incendios, explosiones y deslizamientos como consecuencias de terremotos que causen daños materiales a los edificios asegurados y hasta el límite de capital asegurado por el TCIP. No incluye pérdidas en los contenidos o pérdidas consecuenciales o pérdidas indirectas (Gurenko *et al.* 2006).

### 5.3.5. Otros mecanismos de aseguramiento masivo

Existen diversas experiencias de fondos de catástrofe y programas de aseguramiento con resultados exitosos y otros con fracasos y problemas. Ejemplos de problemas es el caso en el cual se presentaron múltiples reclamaciones y conflictos después del huracán Katrina en Nueva Orleans debido a que el seguro frente a huracanes no incluía inundaciones por ser un seguro que en Estados Unidos sólo lo ofrece el gobierno federal (a través de FEMA) y los daños en su mayoría fueron debido a inundaciones causadas por el desbordamiento de un lago y el río Misisipi que están más altos que varios sitios de la ciudad y en particular por el rompimiento de los diques de contención. En su mayoría la gente que tenía seguro frente a huracán no tenía seguro con FEMA de inundaciones.

Es importante mencionar algunos instrumentos de orden gubernamental que al igual que el TCIP (único en un país en desarrollo) se han implementado en países desarrollados donde la cultura del seguro es más avanzada. Se pueden mencionar: el

Florida Hurricane Catastrophe Fund (FHCF), el Hawaii Hurricane Relief Fund (HHRF), la California Earthquake Commission (CEA), la New Zealand Earthquake Commission (EQC), el CATNat de Francia, el Taiwan Residential Earthquake Insurance Pool (TREIP), la Japanese Earthquake Reinsurance Company (JER), el Norsk Naturskadepool de Noruega y el Consorcio de Compensación de Seguros de España. Ninguno cubre activos públicos ni financia emergencias. En su mayoría estas facilidades tienen en común que (1) tienden a proveer cobertura contra amenazas naturales específicas, (2) tienden a tener un foco regional, (3) proveen coberturas principalmente para casas y sus contenidos, (4) tienen tasas de primas que tienden a reflejar las características del riesgo con un elemento de solidaridad involucrado, (5) como regla, no reciben subsidios directos del gobierno, (6) en diferente grado, promueven el refuerzo y las prácticas de construcción segura ofreciendo descuentos en las primas, aunque la mitigación no es típicamente su foco principal, y (7) confían en la distribución y las capacidades de servicio de las compañías de seguros privadas y sus agentes (GAO 2002; Consorcio de Compensación de Seguros 2008).

#### **5.4. Papel de los organismos internacionales y privados**

En cuanto a los organismos internacionales, se puede señalar que en los últimos años el BID y el Banco Mundial han estado jugando un rol importante en la promoción y el desarrollo de soluciones innovadoras de financiación del riesgo. Estas entidades, a diferencia de otras que promueven la gestión del riesgo, tienen un alto poder de convocatoria por su capacidad de apoyar la inversión pública, el desarrollo de asistencia técnica especializada para el desarrollo pueden facilitar la implementación de estructuras de transferencia y retención del riesgo, con su rol de financiadores. El BID y el Banco Mundial han apoyado perfiles y estudios de riesgo (por ejemplo utilizando el CAPRA) y han ofrecido créditos contingentes. El Banco Mundial ha facilitado el desarrollo del sistema de seguro de catástrofes para el Caribe (CCRIF), del cual se hizo una breve descripción previamente. Colombia, Costa Rica, Guatemala, Panamá y El Salvador han contratado créditos contingentes de 150, 60, 85, 60 y 50 millones de dólares respectivamente, con el Banco Mundial para que se desembolse inmediatamente en caso de un desastre declarado de acuerdo con la legislación. Este tipo de crédito contingente, denominado el CAT-DDO por el Banco Mundial. En el año 2012, en el caso de Colombia, se renovó el crédito por la misma cantidad anterior, para Costa Rica se desembolsó el 75% de éste, mientras que para Guatemala, después de dos años se realizó el desembolso total y se renovará por un valor de 70 millones de dólares aproximadamente; en cuanto al crédito contingente de Panamá, éste existe desde mediados de 2012 aproximadamente, y en el caso de El Salvador, al igual que Guatemala, el crédito ha sido totalmente desembolsado después de dos años de su contratación.

Como ya se explicó, existe en Colombia, en la ciudad de Manizales, un caso de aseguramiento masivo ante desastres producidos por fenómenos naturales que ha sido considerado como ejemplar y digno de ser replicado. Se trata de un seguro colectivo voluntario que permite cubrir a los más pobres. También merece una referencia el caso

del seguro obligatorio en Turquía (TCIP), así como también la creación de la aseguradora cautiva para cubrir pérdidas de la mayoría de países del Caribe (CCRIF); iniciativa impulsada por el Banco Mundial para ilustrar cómo se puede diversificar el riesgo entre grupos de países.

Otros organismos internacionales también han promovido el tema de la transferencia del riesgo y la protección financiera en general. La CEPAL, la CAF, el proyecto PREDECAN de la Comunidad Europea con la CAN, la OFDA/AID y la OEA han realizado seminarios, talleres y publicaciones sobre el tema con fines de promoción. Por esta razón, cada vez hay un mayor conocimiento y una mayor demanda de información en relación con la modelización del riesgo con fines de protección financiera y con el fin de explorar la implementación de diferentes instrumentos financieros factibles. También se debe mencionar que varias reaseguradoras como la Swiss Re, la Munich Re y *brokers* y corredores de seguros han contribuido a diseminar información y a impulsar posibles aplicaciones prácticas de seguros con gobiernos a nivel nacional o a nivel local en ciudades. Varias de estas reaseguradoras y *brokers* también impulsan actualmente el desarrollo del GEM, cuyo objetivo es tener en el 2014 una plataforma a nivel internacional que contribuya a la estandarización de procedimientos de modelización del riesgo sísmico y de los formatos de datos requeridos para caracterizar la exposición; i.e. los activos o elementos expuestos.



## Capítulo 6.

# MODELIZACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

El análisis de riesgo se ha venido realizando a través de la historia de manera no formal en innumerables situaciones humanas. Riesgo ha estado siempre asociado a decisión, con algo que debe hacerse; con la ejecución de una acción que va desde lo trivial a lo muy importante. En cada caso se debe elegir una acción que se debe llevar a cabo. Los resultados de cada acción factible están en el futuro y son inciertos. Unos resultados pueden ser mejores que otros, en algunos casos serán buenos y en otros pueden ser perjudiciales. Seleccionar una posible acción significa asumir una eventual adversidad o contingencia asociada a dicha acción. Por esta razón, el riesgo debe evaluarse para que se pueda tomar una decisión. Las discusiones acerca del riesgo tocan las raíces de la sociedad, el conocimiento, los valores, las percepciones e incluso la propia existencia. Implican reflexionar acerca de qué es el conocimiento científico, los puntos de vista desde donde se argumenta, la racionalidad de qué es a lo que se teme y la manera como se debe actuar. El tener que arreglarse con incertidumbres en el análisis de sistemas físicos llega a ser una de las circunstancias que define enfáticamente si un modelo dado es el apropiado para el problema que se tiene entre manos. (Cardona 2001, 2004).

El riesgo es un concepto complejo y extraño, representa algo que parece irreal, en tanto que está siempre relacionado con azar, con posibilidades, con algo que aun no ha sucedido. Su sentido tiene que ver con algo imaginario, algo escurridizo que nunca puede existir en el presente sino sólo en el futuro. Si hay certeza no hay riesgo, así, el riesgo es algo en la mente, íntimamente ligado a la psicología personal o colectiva, aun cuando se intente a menudo darle un sentido de objetividad (Elms 1992). Otra razón por la cual el riesgo es un concepto complejo, es que se trata de una idea compuesta. En la noción de riesgo más completa convergen simultáneamente aspectos como la eventualidad, las consecuencias y el contexto (capacidad de la gestión y actores relacionados). Existen a la vez dos situaciones subyacentes, una de futuro y otra de presente, que no pareciera que se pudieran dar al mismo tiempo en un permanente *to become*: una que da cuenta de "posibilidad" y otra que da cuenta de "realidad", que contribuyen a la hora de intentar llevar a cabo cualquier estimación o calificación del riesgo. Estas dos situaciones son, por una parte, la amenaza, que expresa la potencial influencia o acción de un fenómeno sobre los elementos expuestos y, por otra parte, la vulnerabilidad, que expresa el grado de capacidad que tienen dichos elementos para resistir dicha acción. Esta interpretación está imbuida en la ampliamente conocida

expresión conceptual propuesta en el informe Natural Disasters and Vulnerability Analysis de UNDR0 (1980) y descrita más apropiadamente como una función condicional de amenaza y vulnerabilidad sobre un elemento o grupo de elementos en riesgo por Cardona (1985; 1986), como lo indica la Ecuación 6.1:

$$R_{ie|t} = A_i V_e | t \quad (6.1)$$

En esta ecuación la *amenaza o peligro*  $A_i$ , se puede expresar como la probabilidad de que se presente un suceso con una intensidad igual o mayor a  $i$  durante un período de exposición  $t$ , y la *vulnerabilidad*  $V_e$ , entendida como una predisposición intrínseca o probabilidad de que un elemento expuesto  $e$  sufra un nivel de daño o pérdida por la ocurrencia de un suceso con una intensidad  $i$ . Es decir, el *riesgo*  $R_{ie}$  se expresa como la probabilidad condicional de que se presente una pérdida sobre el elemento  $e$ , como resultado de la ocurrencia de un suceso con una intensidad igual o mayor a  $i$  durante un tiempo un exposición  $t$ .

Esta ecuación en el marco de los fenómenos naturales es equivalente a la ecuación clásica o convencional utilizada en ingeniería para estimar el riesgo como la sumatoria del producto de la frecuencia  $f_i$  de todos los sucesos  $i$  que pueden ocurrir por sus consecuencias  $c_i$ , como lo expresa la Ecuación 6.2:

$$R = \sum f_i c_i \quad (6.2)$$

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.

$$\text{Riesgo} \left( \frac{\text{consecuencias}}{\text{und.tiempo}} \right) = \text{frecuencia} \left( \frac{\text{suceso}}{\text{und.tiempo}} \right) \otimes \text{severidad} \left( \frac{\text{consecuencias}}{\text{suceso}} \right) \quad (6.3)$$

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 geofísica, la meteorología, la hidrología y los procesos tecnológicos. Los resultados de estos estudios usualmente se plasman en mapas de amenaza. De esta manera, se realizan zonificaciones en las cuales se presenta un nivel de intensidad potencial en varios sitios y se delimitan áreas homogéneas o zonas de amenaza similar para un período de retorno dado.

Por su parte, evaluar la vulnerabilidad, es establecer el grado de daño que puede sufrir un elemento o grupo de elementos expuestos ante la acción de eventos o sucesos de diferente intensidad 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 de 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 investigación utiliza 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 los otros enfoques donde las métricas del riesgo físico en algunos se utilizan como parte de los indicadores que da cuenta del riesgo de una perspectiva integral; como lo plantean Cardona (2001) y Carreño (2006).

### 6.1. Modelización probabilista del riesgo

El análisis probabilista del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir los activos expuestos, en lapsos dados, como consecuencia de la ocurrencia de fenómenos peligrosos, integrando de manera racional las incertidumbres que surgen en las diferentes fases del análisis. La pregunta básica que este tipo de análisis debe responder es: que dado que se tiene un conjunto de activos expuestos a una o varias amenazas ¿con qué frecuencia se presentarán pérdidas que superen un valor determinado?

En síntesis el procedimiento de cálculo probabilista del riesgo consiste en evaluar las pérdidas que se presentarían en los activos expuestos, durante cada uno de los sucesos o eventos que colectivamente describen la amenaza, y luego integrar en forma probabilista los resultados obtenidos utilizando como factores de peso las frecuencias de ocurrencia de cada evento. Este procedimiento involucra incertidumbres que no pueden despreciarse y deben propagarse a lo largo del proceso. La evaluación del riesgo implica una serie de pasos que se describen a continuación:

*Definición del inventario de elementos en riesgo:* Se debe definir el portafolio que está expuesto a la amenaza y que podría ser afectado. Dicho inventario corresponde a una serie de bienes a los cuales se les debe especificar su localización geográfica, su valor –usualmente de reposición–, y el tipo de bien, de acuerdo con sus características, que permiten asignarle una función de vulnerabilidad.

*Evaluación de la amenaza:* Definición, para cada uno de los peligros considerados, de un conjunto de sucesos o eventos, con sus respectivas frecuencias de ocurrencia, que representan de manera integral la amenaza respectiva. Para cada evento se establece una distribución espacial de parámetros –escenario– que permiten construir la distribución de probabilidad de las intensidades producidas por la ocurrencia del evento.

*Vulnerabilidad de los elementos expuestos:* Se debe asignar a cada uno de los tipos de bienes, según sus características estructurales, una función de vulnerabilidad para



cada tipo de amenaza. Esta función da cuenta del comportamiento de la construcción ante la acción de los fenómenos peligrosos. Las funciones de vulnerabilidad definen la distribución de probabilidad de las pérdidas de acuerdo con la intensidad de los eventos y se definen mediante curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar de dicho daño con la intensidad del fenómeno.

*Estimación del riesgo del portafolio:* Se obtiene como resultado de la convolución de 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 comúnmente es descrito mediante la *curva de excedencia de pérdidas*, que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con las que ocurrirán eventos en que se exceda un valor especificado de pérdida. Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como tasa de excedencia y puede calcularse mediante la Ecuación 6.4, que es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} Pr(P > p | \text{Evento } i) F_A(\text{Evento } i) \quad (6.4)$$

donde  $v(p)$  es la tasa de excedencia de la pérdida  $p$  y  $F_A(\text{Evento } i)$  es la frecuencia anual de ocurrencia del evento  $i$ , mientras que  $Pr(P > p | \text{Evento } i)$  es la probabilidad de que la pérdida  $P$  sea superior a  $p$ , dado que ocurrió el  $i$ -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de  $v(p)$  es el período de retorno de la pérdida  $p$ , identificado como  $Tr$ .

La curva de excedencia de pérdidas contiene toda la información necesaria para describir en términos de probabilidad el proceso de ocurrencia de eventos que produzcan pérdidas.

La pérdida  $p$  a que se refiere la Ecuación 6.4 es la suma de las pérdidas que acontecen en todos los bienes expuestos. Conviene hacer notar lo siguiente:

- a) La pérdida  $p$  es una cantidad incierta, cuyo valor, dada la ocurrencia de un evento, no puede conocerse con precisión. Debe, por tanto, ser vista y tratada como una variable aleatoria y deben preverse mecanismos para conocer su distribución de probabilidad, condicionada a la ocurrencia de cierto evento.
- b) La pérdida  $p$  se calcula como la suma de las pérdidas que se presentan en cada uno de los bienes expuestos. Cada uno de los sumandos es una variable aleatoria y entre ellos existe cierto nivel de correlación, que debe ser incluido en el análisis.

### 6.1.1. Procedimiento de cálculo

En vista de la Ecuación 6.4, la secuencia de cálculo probabilista de riesgo es la siguiente:

1. Para un escenario, determinar la distribución de probabilidades de la pérdida en cada uno de los bienes expuestos.

2. A partir de las distribuciones de probabilidad de las pérdidas en cada bien, determinar la distribución de probabilidad de la suma de estas pérdidas, tomando en cuenta la correlación que existe entre ellas.
3. Un vez determinada la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas en este evento, calcular la probabilidad de que ésta exceda un valor determinado,  $p$ .
4. 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 6.4. Es interesante señalar también que en esta ecuación no se hace distinción entre eventos que pertenezcan a diferentes amenazas. En efecto, la suma en esa ecuación podría incluir, por ejemplo, sismos y huracanes o sismos y erupciones volcánicas. Esto puede hacerse porque se ha supuesto que tanto los eventos asociados a una misma amenaza como los eventos asociados a distintas amenazas no ocurren simultáneamente. Sin embargo, algunos fenómenos potencialmente dañinos sí ocurren simultáneamente, por lo que en estos casos hay que tomar previsiones especiales para la determinación de la distribución de probabilidad de  $p$ . Por ejemplo, el paso de un huracán genera tanto un campo de vientos fuertes, como inundaciones por aumento en los niveles de la marea y por las lluvias intensas asociadas; los daños por viento y por inundación, entonces, ocurren casi al mismo tiempo, y no pueden considerarse eventos independientes. En este caso se dice que las amenazas están asociadas a la misma *temporalidad*.

De acuerdo con lo anterior, un terremoto, entendido como el movimiento del suelo debido al paso de ondas sísmicas, un tsunami y los deslizamientos de tierra que pueden inducirse por el terremoto ocurrirían en una misma temporalidad, pero en una temporalidad diferente, por ejemplo, a la que ocurrirían daños por viento, marea de tormenta e inundación. La evaluación de pérdidas durante un escenario se realiza entonces considerando que las amenazas que pertenecen a 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 intensidades es irrelevante:

$$P_i = \prod_{j=1}^M (1 - P_{ij}) \quad (6.5)$$

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 (que están perfectamente correlacionadas, por ejemplo) los momentos de la distribución de probabilidad de  $P_i$  pueden determinarse a partir de la Ecuación 6.5.

### 6.1.2. Incertidumbres asociadas

Como se observa en la Ecuación 6.6, y como se planteó anteriormente, la pérdida que se presenta en un grupo de bienes expuestos durante un escenario 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 escenario. Por razones metodológicas, la probabilidad de excedencia de la pérdida  $p$ , dado que ocurrió un evento, suele expresarse de la siguiente manera:

$$Pr(P > p|Evento) = \int_I Pr(P > p|I)f(I|Evento)dI \quad (6.6)$$

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 probabilidades 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.

### 6.1.3. Métricas del riesgo

Como se indicó anteriormente, la curva calculada aplicando la Ecuación 6.4 tiene toda la información necesaria para caracterizar el proceso de ocurrencia de eventos que produzcan pérdidas. Sin embargo, en ocasiones es impráctico utilizar una curva completa, por lo que conviene utilizar estimadores puntuales del riesgo que permitan expresarlo con un solo número. Se presentan a continuación los dos estimadores más comúnmente utilizados.

*Pérdida anual esperada ( $P_{AE}$ ):* se trata del valor esperado de la pérdida anual. Es una cantidad importante puesto que indica, por ejemplo, que si el proceso de ocurrencia de eventos dañinos fuera estacionario de aquí a la eternidad, su costo equivaldría a haber pagado la cantidad  $P_{AE}$  anualmente. En un sistema simple de seguro, la pérdida anual esperada sería la prima pura anual justa. La  $P_{AE}$  puede obtenerse por integración de  $v(p)$  o mediante la siguiente expresión:

$$P_{AE} = \sum_{i=1}^{Eventos} E(P|Evento i)F_A(Evento i) \tag{6.7}$$

La  $P_{AE}$  se calcula como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para determinado evento y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento en un período de un año, para todos los eventos –estocásticos– considerados. En términos probabilistas, la  $P_{AE}$  es la esperanza matemática de la pérdida anual. La  $P_{AE}$  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 otras, pero sin necesidad de particularizar dichas pérdidas para un evento especial (Roa 2010).

La *Prima Pura de Riesgo (PPR)*: se define como la pérdida anual esperada dividida por el valor de reposición del inmueble en estudio. Indica el monto que debe ser pagado anualmente para cubrir las pérdidas esperadas en un evento futuro. De cobrarse esta prima durante un tiempo infinito se podrían llegar a pagar todos los daños que en ese lapso se pudieran presentar en ese edificio en el sitio donde se encuentra. A la Prima Técnica se deben sumar los costos de operación, adquisición y utilidad, entre otros. A partir de la suma de todas las Primas Puras de Riesgo del grupo de edificaciones se puede calcular la Reserva de Riesgos en Curso y la Reserva Catastrófica. En la Figura 6.1 se presenta un ejemplo en retrospectiva de las pérdidas ocurridas durante 30 años en México y cómo con un valor anual promedio de prima pura (línea roja) de aproximadamente 2600 millones se cubrirían todas las pérdidas en el período estudiado (Ordaz *et al.* 2003).

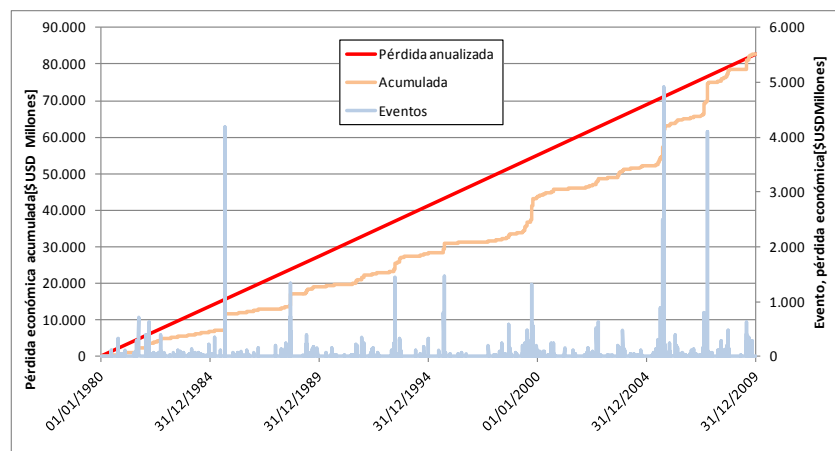


Figura 6.1. Pérdidas por eventos pequeños y grandes en un lapso de 30 años en México

*Probabilidad de excedencia de valores de pérdida:* La curva de pérdidas,  $v(p)$ , calculada con la Ecuación 6.4 indica con qué frecuencia ocurrirán eventos que producirán pérdidas iguales o superiores a una dada,  $p$ . 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  $T$ , es decir, en los próximos  $T$  años, con la siguiente expresión:

$$P_e(p, T) = 1 - e^{-v(p)T} \quad (6.8)$$

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

*Valor esperado de la pérdida para un solo evento:* El análisis probabilista de riesgo se realiza normalmente para el conjunto completo de escenarios especificados en las diferentes amenazas. Sin embargo, si así se desea, el análisis puede realizarse para un solo escenario (uno solo de los sumandos en la ecuación 6.4). Si se hace que la frecuencia anual de ocurrencia de este escenario sea 1, la aplicación de la Ecuación 6.4 conduciría a las probabilidades de excedencia (ya no frecuencias anuales de excedencia) de valores de pérdida  $p$ , dado que el escenario en cuestión ocurrió.

*Pérdida máxima probable (PMP) o PML*, por las iniciales en inglés de Probable Maximum Loss; se trata de una pérdida que ocurre con muy poca frecuencia; es decir, que está asociada a un periodo de retorno muy largo (o, alternativamente, a una tasa de excedencia muy baja). No existen estándares universalmente aceptados para definir qué quiere decir "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. En la industria aseguradora, por ejemplo, los periodos de retorno utilizados para definir la PML varían entre 200 y al menos 1500 años.

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 portafolio de elementos expuestos (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. En general, las funciones de vulnerabilidad son una representación del comportamiento promedio de tipos constructivos (presentan una dispersión y una varianza)<sup>1</sup>, 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

---

<sup>1</sup> Es imposible caracterizar perfectamente un edificio ante un único parámetro de amenaza. Las funciones de vulnerabilidad normalmente responden a una intensidad (aceleración máxima o espectral u otra), sin embargo, ésta intensidad es sólo un punto de un acelerograma completo, y, dada la complejidad de los edificios, estos no responden sólo al valor escogido sino a muchas otras variables. Adicionalmente, la amenaza también es probabilista, pues presenta una incertidumbre inherente asociada con su ocurrencia, lugar e intensidad, es decir, no se puede conocer, y una incertidumbre epistémica dado que no existe total conocimiento en las cantidades o procesos del sistema físico del fenómeno.

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). 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)<sup>2</sup>.

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 *et al.* 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.

$$PML(A+c) = PML(A) + c \quad (6.9)$$

- b. *Homogeneidad positiva*: Un cambio  $k$  en la escala monetaria del portafolio expuesto (por ejemplo, cambio de divisas), la PML cambia por el mismo factor.

$$PML(k.A) = k.PML(A) \quad k > 0 \quad (6.10)$$

- 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.

$$\text{Si } A \geq B, \text{ entonces } PML(A) \geq PML(B) \quad (6.11)$$

- 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.

$$PML(A+B) < PML(A) + PML(B) \quad (6.12)$$

<sup>2</sup> La ATC y los consultores del proyecto ATC-13 no recomiendan el cálculo de la PML para edificios individuales, pues este valor representa el típico comportamiento de edificios de características similares y no el de un edificio, sin embargo, dado el aumento en el uso de la PML para edificios individuales, el ATC-13-1 presenta una estandarización de la terminología y de lo que debería ir incluido en un informe de la PML.

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.<sup>3</sup>

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 *et al.* 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: ¿cuánto se puede perder en un determinado período de retorno? Dependiendo de la tolerancia del riesgo de una organización, el tomador de decisiones puede decidir manejar las pérdidas para un cierto período de retorno (por ejemplo 1 en 300 años). En la curva de probabilidad de excedencia anual de pérdidas la PML es un percentil de la curva de excedencia de pérdida. 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)<sup>4</sup>. 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 periodos de retorno mayores a 1000 años para definir los márgenes de solvencia de las compañías aseguradoras.

<sup>3</sup> De acuerdo al programa usado para la modelización del riesgo, los resultados en la probabilidad de excedencia de pérdidas pueden presentar una alta o baja variabilidad. En el caso de la modelización con CAPRA, la volatilidad es baja dado que los resultados del análisis de amenaza se tienen previamente almacenados (en archivos de formato .AME), y en relación a las curvas de vulnerabilidad, debido al amplio portafolio, la variabilidad disminuye, lo que tal vez no ocurriría con un inventario de edificaciones mucho menor.

<sup>4</sup> Standard & Poor's es una agencia de calificación de riesgo de acciones y bonos, que fija la posición de solvencia de los mismos.

## 6.2. Evaluación del riesgo catastrófico

Cualquier tipo de riesgo catastrófico implica un efecto financiero para los gobiernos que son responsables de asumir o retener riesgo. El hecho de subestimar la posible magnitud de los fenómenos naturales, debido a que los grandes eventos registran períodos de retorno prolongados y que los eventos ocurridos en años anteriores rara vez son representativos de los eventos de gran magnitud, tiene varias implicaciones importantes. La más obvia es que al no comprender el posible impacto de los fenómenos naturales se subestima la importancia de contar con herramientas de planeamiento financiero para hacer frente al riesgo de insolvencia. Por otra parte, se limita el desarrollo de modelos o de indicadores adecuados que permitan cuantificar el riesgo de desastre y de esta manera el riesgo soberano asociado a este tipo de *shocks*. La financiación del riesgo debe ser un proceso estudiado, planeado y controlado, dado que es posible que la magnitud de una catástrofe particular exceda la capacidad financiera y de respuesta por parte del gobierno que pueda ser afectado; en particular, si se trata de un país en desarrollo donde no existe una alta resiliencia económica frente a estos u otros *shocks* financieros. Por lo anterior, como ya ha sido tratado en los Capítulos anteriores, es necesario contar con estudios detallados para poder hacer evaluaciones que tienen altos beneficios tanto desde la perspectiva de la protección financiera como de la reducción del riesgo en general. Si bien es posible adoptar decisiones de política con cierto tipo de aproximaciones o sin estimaciones probabilistas, el hecho de no cuantificar el riesgo cuando es posible hacerlo limita el proceso de toma de decisiones desde la perspectiva de la reducción y la financiación del riesgo. En este sentido, utilizar modelos de riesgo catastrófico constituye una importante y poderosa herramienta en el desarrollo de las actividades propias de las instituciones de planeación económica y financiera.

En general, en la mayoría de los países en desarrollo ha existido una deficiencia notable en relación con la evaluación de riesgos debido a la falta de un marco metodológico adecuado para cada nivel de análisis (nacional, subnacional). Aunque existen muchos estudios, algunos países no han contado con estudios de amenaza apropiados, ni con verdaderos estudios de riesgo. Ha existido una dispersión significativa de trabajos realizados sin un marco de referencia adecuado que permitan controlar la calidad y hacer de los mismos, verdaderos insumos para la planificación. Asimismo, el mercado asegurador en los países en desarrollo ha sido más pequeño que en el mundo desarrollado y los recursos no han sido adecuados para sostener los costos fijos y los gastos de funcionamiento de los modelos de riesgo lo que afecta los programas de gestión y mitigación del riesgo.

Las metodologías existentes para el cálculo del riesgo no son muchas y se basan básicamente en un mismo enfoque. Desde tiempo atrás la industria aseguradora y reaseguradora se ha servido de la organización CRESTA ([www.cresta.org](http://www.cresta.org)) para establecer un sistema uniforme y global para transferir datos de exposición agregada para la modelización y control de cúmulos de riesgo entre los aseguradores y reaseguradores. La principal razón por la que se realiza esta agregación es debido al alto costo de la modelización del riesgo catastrófico con alta resolución y debido a la ausencia de datos detallados, ya 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 apropiados para la evaluación del riesgo catastrófico que usualmente son *proprietary*; 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 están enfocados en capturar posibles situaciones de insolvencia indeseables para las compañías de seguros y reaseguros o entidades del mercado de capitales que “toman” riesgo. Por otro lado, firmas especializadas en México (ERN y II-UNAM) y Colombia (INGENIAR Ltda., ITEC Ltda.) han desarrollado modelos de riesgo con los cuales se han realizado evaluaciones para algunos países, no sólo para la industria de seguros sino que también han sido utilizados para ayudar a los gobiernos a definir programas de gestión del riesgo de desastres.

Teniendo en cuenta las limitaciones en la evaluación del riesgo debido a la falta de un adecuado marco instrumental metodológico, surgió en 2008 la iniciativa de crear una plataforma de información (de código abierto y arquitectura modular para el cálculo del riesgo por múltiples amenazas) para apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo ante desastres naturales: Se promovió el desarrollo de la plataforma “Evaluación Probabilista de Riesgos para América Central” (CAPRA en inglés)<sup>5</sup>. Esta iniciativa se desarrolló originalmente para los países de Centroamérica con el apoyo del Banco Mundial, el BID y la UN-ISDR, pero ya ha sido utilizada en varios países de Suramérica, el Caribe y Asia. La Figura 6.2 ilustra esquemáticamente los pasos necesarios para evaluar el riesgo catastrófico, a partir de una secuencia de procesos independientes pero interconectados en forma consistente.

En el caso de la plataforma CAPRA estos procesos son módulos que permiten análisis independientes pero en forma integrada. La Figura 6.3, ilustra esquemáticamente el proceso del cálculo de las métricas de riesgo probabilistas con la plataforma CAPRA.

El diagrama de flujo de la evaluación del riesgo utilizando esta herramienta se realiza recorriendo todos los eventos o escenarios (históricos y generados en forma estocástica) que caracterizan cada amenaza (sismos, ciclones, tormentas, etc.) desde menores y muy recurrentes hasta muy fuertes y poco recurrentes (que se registran en el que se conoce como formato .ame). Para cada evento, en cada sitio o ubicación geográfica, se tiene un valor medio del parámetro de intensidad y el valor de la frecuencia anual de ocurrencia de dicha intensidad (a través de dos mallas de coordenadas) que representan cada escenario de la amenaza en consideración.

<sup>5</sup> CAPRA actualmente se le conoce como “Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment”. Esta plataforma ha sido desarrollada por INGENIAR Ltda., ITEC Ltda., ERN I.C. y el CIMNE de Barcelona en España.

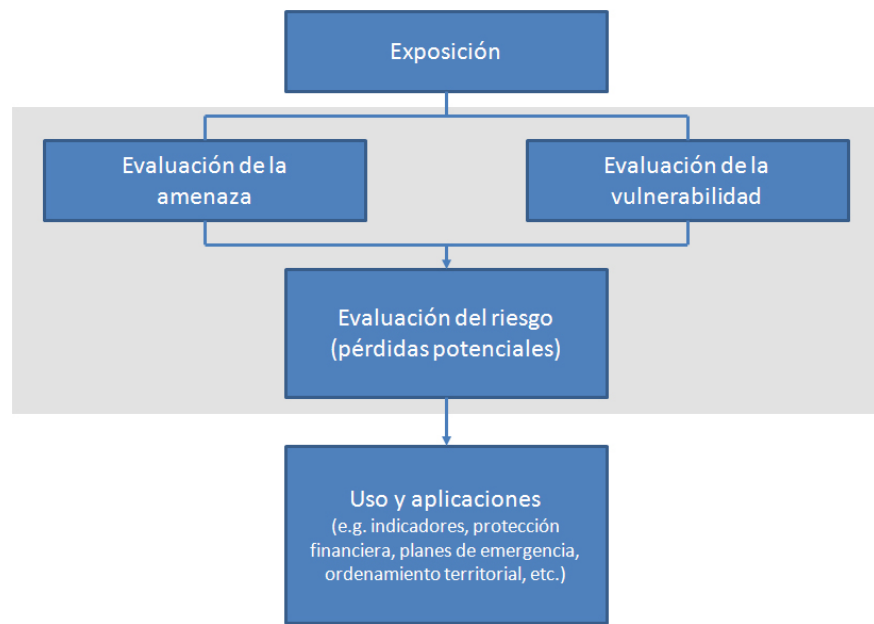


Figura 6.2. Pasos para la evaluación del riesgo catastrófico

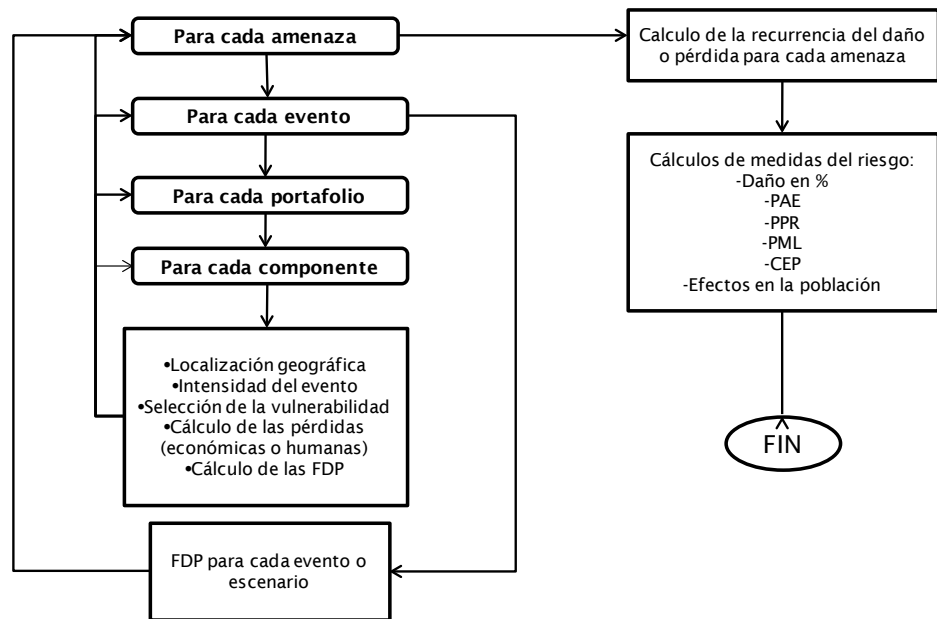
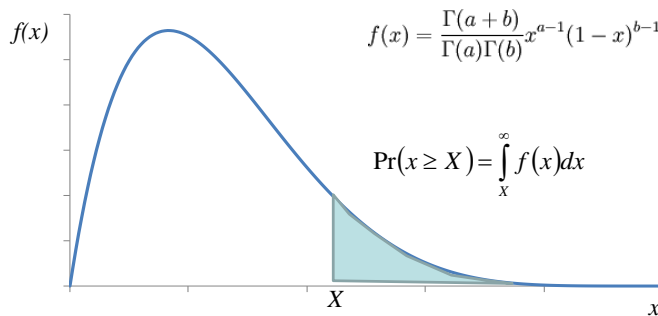


Figura 6.3. Diagrama de flujo ilustrativo del proceso del cálculo de riesgo del CAPRA

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, polducto, 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 Figura 6.4 ilustra una función de este tipo con la cual se puede obtener la probabilidad de exceder un valor de pérdida determinado.



**Figura 6.4.** Función de distribución de probabilidad FDP de la pérdida utilizada en el CAPRA

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. Usando esta herramienta, el BID ha financiado el desarrollo de perfiles de riesgo catastrófico en varios países de las Américas (Perú, Bolivia, Guatemala, Jamaica, El Salvador, Belice, Honduras, Guyana, República Dominicana y Trinidad y Tobago) al igual que el Banco Mundial (Costa Rica y Nicaragua). Por su parte la UN-ISDR ha complementado dos casos que previamente se habían estudiado con técnicas similares (Colombia y México para el GAR11) y más recientemente (Ecuador y Venezuela para el GAR13) con fines de ilustrar el uso de la base de datos DesInventar de la RED (para la estimación empírica y retrospectiva) y del CAPRA (para la estimación analítica y prospectiva) en el desarrollo de la curva de excedencia de pérdidas de los países, con fines de estratificación (capas) del riesgo (ERN-AL 2010). Incluso, con esta plataforma se ha obtenido la amenaza y el riesgo por la acción del viento a consecuencia de huracanes para Guatemala, utilizando

el modelo de cambio climático del *National Center of Atmospheric Research* (NCAR) con el cual se han simulado las trayectorias de los futuros huracanes hasta el año 2055. En este caso aunque el comportamiento de la amenaza no es estacionario, el análisis es posible hacerlo incrementando paulatinamente hasta el 2055 la base de datos de huracanes de la NOAA registrados entre 1856 y 2010 (CIMNE *et al.* 2013a).

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 *et al.* 2005; Cardona *et al.* 2008b; Cardona *et al.* 2008a; Cardona *et al.* 2008c; Cardona *et al.* 2008d).

Ahora bien, con base en los resultados obtenidos con el módulo de evaluación del riesgo catastrófico se pueden entonces diseñar las alternativas de gestión y protección financiera o realizar otras aplicaciones o usos de los resultados, los cuales son procesos que también pueden sistematizarse y utilizarse como otros módulos para la gestión del riesgo. Aparte de la gestión financiera del riesgo, entre otros procesos o módulos que pueden transformar, a modo de post-procesadores, los resultados básicos del riesgo en información útil para la toma de decisiones se pueden mencionar la determinación de zonas de amenaza y riesgo para definir los usos del suelo o el ordenamiento territorial; el análisis beneficio-costado de la reducción del riesgo (e.g. con evaluaciones sin y con el refuerzo de estructuras, sin y con obras de mitigación o prevención); la formulación de escenarios de daños con fines de formulación de planes de emergencia y rehabilitación, la estimación holística del riesgo utilizando indicadores que permitan capturar la amplificación del riesgo físico debido a factores sociales, económicos, culturales o de gobernabilidad de la población (Cardona *et al.* 2000; Carreño *et al.* 2007b; Mora *et al.* 2009; Barbat *et al.* 2011; Valcarcel 2013; Yamin *et al.* 2013).

### 6.2.1. Modelización del riesgo en caso de terremotos

La frecuencia de eventos sísmicos catastrófico es particularmente baja y por lo tanto la disponibilidad de datos históricos es limitada. Considerando la posibilidad de futuros eventos altamente destructivos, la estimación del riesgo se debe enfocar en modelos probabilistas que puedan utilizar la limitada información disponible para predecir, de la mejor manera, futuros escenarios y para considerar la alta incertidumbre involucrada en el análisis. Por lo tanto, la estimación del riesgo debe ser prospectiva, anticipando eventos científicamente creíbles que podrían ocurrir en el futuro. Fundamentos sismológicos y de ingeniería son necesarios para desarrollar modelos de predicción sísmica que permitan evaluar el riesgo de que se presenten pérdidas como resultado de un evento catastrófico. Dado que existen grandes incertidumbres inherentes en los modelos, relacionadas con las características de severidad y frecuencia de los eventos, y por lo tanto en las pérdidas causadas como consecuencia de estos eventos, el modelo de riesgo sísmico debe estar basado en formulaciones probabilistas que incorporen estas incertidumbres en la evaluación del riesgo (Ordaz 2000). A continuación se describe cómo se desarrolla el cálculo de la

amenaza, la vulnerabilidad y riesgo sísmico siguiendo un procedimiento probabilista coherente y riguroso.

### **6.2.1.1. Evaluación de la amenaza sísmica**

El análisis de la amenaza sísmica tiene por objeto estimar la probabilidad de exceder ciertos niveles de intensidad del movimiento del terreno en un lugar particular. Para el efecto es necesario definir las fuentes sismogénicas, la frecuencia y la severidad de los sismos que se han presentado y se pueden presentar y la atenuación de la energía sísmica con la distancia al sitio de interés.

La actividad de la  $i$ -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes,  $\lambda_i(M)$ , generadas por dicha fuente. Esta tasa de excedencia mide qué tan frecuentemente se generan temblores con magnitud superior a una magnitud específica. Las fallas o fuentes sísmicas son modeladas siguiendo un proceso de Poisson. Para la mayor parte de las fuentes sísmicas, la función  $\lambda_i(M)$  es una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter. En estos casos, la sismicidad queda descrita de la siguiente manera (ecuación (6.13)).

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad (6.13)$$

donde  $M_0$  es la mínima magnitud relevante,  $\lambda_0$  es la tasa de recurrencia o número promedio de sismos al año con magnitud mayor a la magnitud relevante,  $\beta$  representa la pendiente del tramo inicial de la curva de recurrencia de magnitudes y  $M_u$  es la magnitud máxima que puede generarse en cada fuente y que se estima, usualmente, con base en la máxima longitud de ruptura posible de la falla. Estos parámetros definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas y se estiman por medio de procedimientos estadísticos, que incluyen información sobre regiones tectónicamente similares a la región que se analiza e información de expertos, especialmente en relación con el valor de  $M_u$ .

Es importante señalar que las fuentes sísmicas son volúmenes, el epicentro no sólo puede ocurrir en el centro de las fuentes, sino que también puede ocurrir, con igual probabilidad, en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Por lo tanto, para la simulación del conjunto de eventos del sistema, se definen subfuentes mediante la subdivisión de la fuente sísmica, dependiendo de la distancia hipocentral  $R_0$  en diversas formas geométricas. Para cada subdivisión se considera que la sismicidad de la fuente se encuentra concentrada en su centro de gravedad.

Una vez se determina la tasa de actividad de cada una de las fallas, se asignan las leyes de atenuación o ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPE<sup>6</sup> en inglés) para evaluar los efectos que produce cada una de ellas en un sitio. Las leyes de atenuación pueden ser varias, dependiendo del tipo de sismo, por lo que a cada fuente le corresponde una ley de atenuación diferente (por ejemplo, las fuentes sísmicas

<sup>6</sup> En el marco del proyecto *Global Earthquake Model*, GEM, se les ha denominado a las leyes o curvas de atenuación: *Ground Motion Prediction Equations*

pueden ser fuentes activas o intraplaca y fuentes de subducción). Adicionalmente, se utilizan leyes de atenuación espectrales que consideran la atenuación dependiendo de la frecuencia de las ondas y de esta manera es posible obtener el espectro de respuesta esperado dada una magnitud y una distancia. Estas leyes están basadas en el cálculo de espectros fuentes y sus valores extremos son hallados mediante teoría de vibraciones aleatorias.

Dado que la intensidad calculada se asume como una variable aleatoria con distribución lognormal, el valor de incertidumbre correspondiente  $\sigma_{ln a}$  se tiene en cuenta para incluir la variabilidad asociada. Suponiendo que la variable intensidad tiene una distribución lognormal, dada la magnitud  $M$  y la distancia  $R_0$ , la probabilidad de una intensidad sísmica definida  $a$ ,  $Pr(A > a | M, R_j)$  se calcula de la siguiente forma:

$$Pr(A > a | M, R_0) = \Phi\left(\frac{1}{\sigma_{ln a}} \ln \frac{MED(A | M, R_0)}{a}\right) \quad (6.14)$$

donde  $\Phi(\cdot)$  es la distribución normal estándar,  $MED(A | M, R_0)$  es el valor medio de la variable intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y  $\sigma_{ln a}$  la desviación estándar del logaritmo natural de la intensidad  $a$ .

Para la estimación probabilista del riesgo sísmico, con base en la metodología desarrollada por Esteva (1970) y Ordaz (2000), se debe generar un conjunto de eventos estocásticos que representen adecuadamente la amenaza, por lo cual se deben incluir eventos mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos, es decir, se deben considerar todos los posibles hipocentros y sus magnitudes asociadas dentro de cada fuente sísmica considerada. Cada uno de estos eventos o escenarios es caracterizado con una frecuencia anual de ocurrencia y de esta manera se obtiene la función de densidad de probabilidad de la intensidad sísmica  $a$  para cada fuente. Adicionalmente se consideran los patrones de atenuación de las ondas sísmicas en forma probabilista y espectral. Para calcular la curva de excedencia de intensidades se agregan las contribuciones de todas las fuentes, como lo presenta la ecuación (6.15).

$$v(a | R_i, p) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} Pr(A > a | M, R_i) dM \quad (6.15)$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas  $N$ , y  $Pr(A > a | M, R_i)$  es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas 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 (Ordaz *et al.* 1998; Ordaz *et al.* 1999).

En la Figura 6.5(a) se ilustra una curva de excedencia de intensidades para cada lugar calculado. Si se sigue el procedimiento descrito para diferentes sitios dentro de un área y la variable de intensidad seleccionada es calculada para un período de retorno específico, es posible construir mapas de la región como se representa en la Figura 6.5(b).

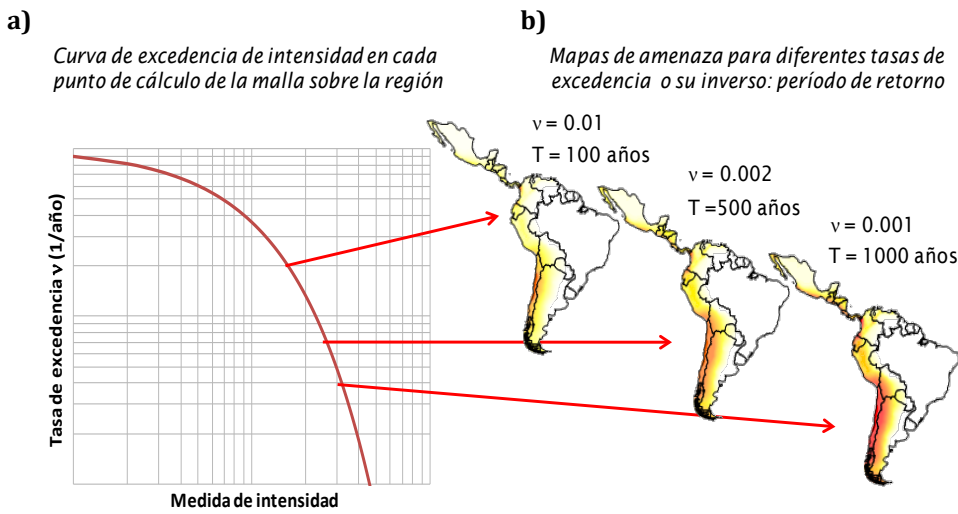


Figura 6.5. (a) Curva de excedencia de intensidades para cada sitio calculado. (b) Mapas de amenaza para diferentes periodos de retorno

Es posible determinar el espectro de amenaza uniforme para un sitio específico de las tasas de excedencia de intensidad, mediante el valor calculado de la intensidad (por ejemplo, la aceleración espectral) asociado a un período de retorno definido, es decir que todos los valores de la intensidad tienen la misma probabilidad de excedencia. Por lo tanto un espectro de amenaza uniforme para un punto específico de análisis puede determinarse al unir puntos de intensidad calculados de la Figura 6.5 para una tasa de excedencia dada (inverso del período de retorno) para diferentes períodos estructurales como se presenta en la Figura 6.6.

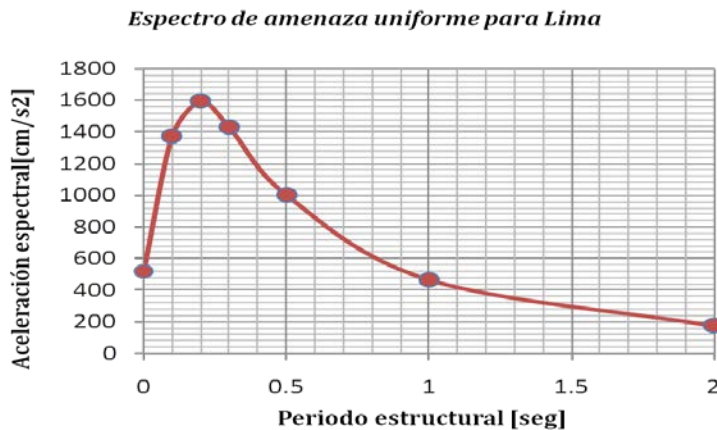
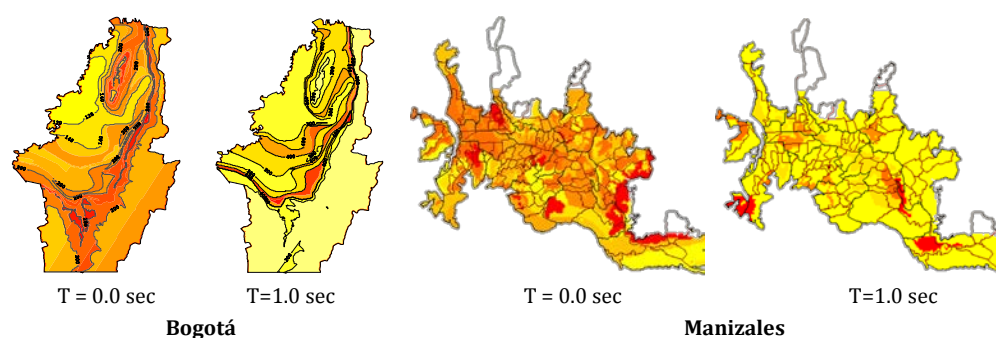


Figura 6.6. Espectro de amenaza uniforme para un sitio específico en roca (Lima)



**Figura 6.7.** Mapas de microzonificación sísmica para un periodo de retorno de 475 años en dos ciudades de Colombia

#### 6.2.1.2. Inventario de activos expuestos

La exposición se refiere a los activos expuestos que pueden ser afectados por un sismo determinado. Para la caracterización de la exposición se deben identificar los diferentes componentes individuales, incluyendo su ubicación geográfica, sus características geométricas, físicas e ingenieriles principales, su vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, su valoración económica y el nivel de ocupación humana que puede llegar a tener cuando se presenta el sismo. Los valores de exposición de los “activos en riesgo” se obtienen normalmente de fuentes secundarias de datos disponibles como bases de datos existentes o como el resultado de aplicar procedimientos simplificados basados en información macroeconómica y social general, como la densidad de la población, estadísticas de construcción o información más específica. Este enfoque *proxy* se utiliza cuando no se cuenta con los datos precisos del sitio específico. Con la información disponible se construye una base de datos georreferenciada que señale la ubicación de cada activo o elemento expuesto. La Tabla 6.1 resume la información mínima requerida para un análisis de riesgo sísmico con fines de seguros. Adicionalmente, se pueden introducir en la base de datos parámetros más detallados para mejorar la confiabilidad general de los resultados. En algunos casos se utilizan herramientas para levantar información a partir de imágenes satelitales o fotografías aéreas u ortofotos. En algunos casos es posible contar con información catastral georreferenciada. Estas herramientas permiten incluir algunas características básicas como tipos constructivos, área, número de pisos o altura del componente, lo cual puede luego complementarse con estadísticas del área de interés, con zonificaciones previas de los tipos constructivos o mediante información de especialistas locales en cada caso.

En relación a la estimación de los efectos en la población, también se utiliza información general relacionada con la ocupación de los edificios. Se define la ocupación máxima y el porcentaje de ocupación a diferentes horas del día con el fin de obtener diferentes escenarios según el momento en que se presenta el evento. Cuando la información de ocupación no está disponible, se puede utilizar la densidad de ocupación aproximada por tipo de construcción para completar esta información. La Tabla 6.2 presenta alguna información de referencia utilizada para la estimación general de la ocupación en ciudades intermedias de Colombia.



**Tabla 6.1.** Información mínima requerida para el análisis

Amenaza	Exposición	Vulnerabilidad	Retención/Transferencia
Departamento	Valor en riesgo	Número de pisos	Porcentaje de retención
Municipio	Límite de cobertura	Tipo de edificio	Deducible
Dirección, GPS	Edificio y contenidos	Año de construcción	Coaseguro

**Tabla 6.2.** Distribución de la población de acuerdo con el uso del edificio

Uso del edificio	Total personas		Personas dentro del edificio	
	Día	Noche	Día	Noche
	[%]	[%]	[%]	[%]
Residencial	20	80	90	100
Comercial, industrial, otro	80	20	90	100
Salud	15 m <sup>2</sup> /persona		100	100

En resumen, la exposición corresponde al inventario de activos que se encuentra en el área de influencia de la amenaza sísmica y que presenta un grado de vulnerabilidad dependiendo de las características de esos activos que los hacen más o menos susceptibles de ser afectados si se presentan terremotos con una intensidad relevante. Las técnicas de levantamiento de la exposición para el caso de edificios, usualmente, definen varios niveles de análisis según el grado de detalle o resolución utilizado, lo que está directamente relacionado con el tipo de decisiones de gestión del riesgo que se esperan tomar. En el marco del proyecto GEM se tienen definidos 4 niveles partiendo de un nivel 0 que es el más grueso o aproximado hasta un nivel en el cual se obtiene información edificio por edificio. En la depuración y refinamiento de este tipo de bases de datos a nivel global aparte de la del GEM existen otras iniciativas lideradas por el Banco Mundial y el UN-ISDR en el desarrollo del *Global Assessment Report GAR*.

### 6.2.1.3. Definición y asignación de la vulnerabilidad

En esta etapa del análisis se definen las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de edificio o activo expuesto; es decir, se cuantifican los niveles de daño esperado en cada tipo constructivo para los diferentes niveles de intensidad sísmica en un área específica. La función de vulnerabilidad debe estimarse para los tipos constructivos más representativos en el conjunto de activos expuestos de manera que se pueda asignar una función de vulnerabilidad a cada uno de los activos que constituyen la base de datos de exposición. En el caso de edificios se han realizado taxonomías que facilitan la clasificación e identificación del tipo o clase de estructura con base en diferentes atributos que se consideran relevantes en el comportamiento de la construcción frente a sismos.

La estimación del daño se mide relacionando el nivel de daño medio y la intensidad sísmica. El nivel de daño medio se expresa en términos del costo de reparación esperado como fracción del costo de reemplazo del edificio. La intensidad sísmica se puede expresar preferiblemente en términos de aceleración máxima (para edificaciones muy rígidas), aceleración espectral (para edificaciones rígidas de poca

altura en mampostería o adobe), velocidad máxima del terreno (para tuberías enterradas) o en términos de la deriva o distorsión angular de entrepiso (para edificios altos o de varios pisos) en cada sitio. La intensidad sísmica que se escoge depende del parámetro que mejor se correlaciona con los daños esperados.

La pérdida  $L$  se define como una variable aleatoria, las funciones de vulnerabilidad describen la variación de los momentos estadísticos de pérdida para diferentes valores de la demanda sísmica. La distribución de probabilidad de pérdida usualmente se considera como una función beta, donde los momentos estadísticos corresponden a la media (usualmente se denomina relación de daño media) y una desviación estándar. La densidad de probabilidades de daño se considera de tipo beta y está dada por la siguiente ecuación:

$$p_{\beta|\gamma_i}(\beta) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \beta^{a-1}(1-\beta)^{b-1} \quad (6.16)$$

donde  $\Gamma$  es la función gamma y  $a$  y  $b$  son parámetros que pueden calcularse a partir de la media y el coeficiente de variación del daño,  $C(\beta)$ , de la siguiente manera:

$$a = \frac{1 - (1 + c^2(\beta|\gamma_i))E(\beta|\gamma_i)}{C^2(\beta|\gamma_i)} \quad (6.17)$$

$$b = a \left[ \frac{1 - E(\beta|\gamma_i)}{E(\beta|\gamma_i)} \right] \quad (6.18)$$

$E(\beta|\gamma_i)$  es la pérdida media o el valor esperado y  $c^2(\beta|\gamma_i)$  es el coeficiente de variación de la pérdida dada una demanda sísmica.  $c^2(\beta|\gamma_i)$  se calcula como:

$$c^2(\beta) = \frac{\gamma_{\beta}^2(\beta|\gamma_i)}{E(\beta|\gamma_i)} \quad (6.19)$$

donde  $\gamma_{\beta}^2(\beta|\gamma)$  es la varianza de la pérdida.

Existe poca información para determinar la varianza del daño bruto. Se sabe, sin embargo, que cuando el valor esperado de la pérdida es nulo la dispersión también lo es. De igual forma, cuando el valor esperado de la pérdida es total, la dispersión es también nula. Para valores intermedios es difícil precisar, con bases empíricas, cuánto vale la varianza de la pérdida.

Las funciones de vulnerabilidad proporcionan toda la información necesaria para calcular la probabilidad de alcanzar o exceder un valor de pérdida dada una demanda sísmica, en lugar de usar escalas cualitativas como es en el caso de los estados de daño (utilizados en las denominadas curvas de fragilidad). Las curvas de vulnerabilidad se usan escalas numéricas para definir la pérdida, como por ejemplo, la relación entre el costo de reparación de un edificio y el valor de reemplazo, con un uso directo en los cálculos de riesgo probabilista. La probabilidad de alcanzar o exceder un valor de pérdida se calcula:

$$\Pr(L \geq l|S) = \int_1^{\infty} p_{l|S}(L)dL \quad (6.20)$$

donde  $l$  es el valor de pérdida en el dominio de la variable aleatoria  $L$ , y  $S$  es la demanda sísmica.

La estimación del daño entonces se realiza en términos de la relación media de daño (RMD),  $\beta$ . El valor de  $\beta_0$  está definido como la relación entre el costo de reparación y el costo de reposición del activo. Una curva de vulnerabilidad se define relacionando la RDM con la intensidad sísmica relevante.

La ecuación (6.21) generaliza la forma básica del valor esperado del daño,  $E(\beta)$ , para un activo expuesto (Miranda 1999; Ordaz 2000):

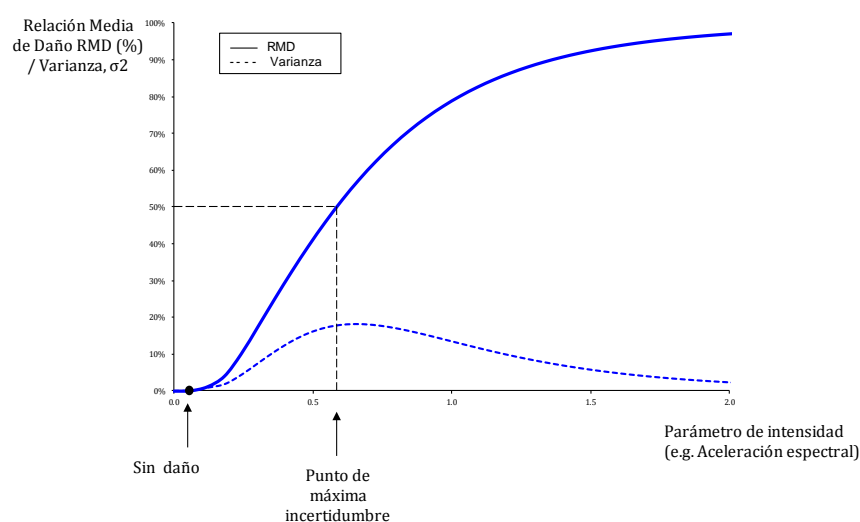
$$E(\beta|\gamma_i) = 1 - \exp \left[ \ln 0.5 \left( \frac{\gamma_i}{\gamma_0} \right)^\varepsilon \right] \quad (6.21)$$

donde  $\beta$  es la pérdida,  $\gamma_0$  y  $\gamma_i$  son los parámetros estructurales de vulnerabilidad que dependen de la tipología estructural, año de construcción,  $\varepsilon$  es la pendiente y  $E(.)$  es el valor esperado. Por definición,  $\beta$  es la relación entre el costo de reparación y el costo total del edificio y toma valores de 0 a 1. Es posible determinar una deriva máxima no lineal usando la aceleración espectral como se presenta en la siguiente ecuación (Miranda 1997):

$$\gamma_i = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 (\eta N^\rho)^2}{4\pi^2 N h} S_a(T) \quad T = \eta N^\rho \quad (6.22)$$

En la ecuación(6.22,  $\beta_1$  es la relación entre el desplazamiento lateral máximo en el nivel superior de la estructura y el desplazamiento espectral;  $\beta_2$  es la relación entre la máxima distorsión de entrepiso y la distorsión global de la estructura,  $\beta_3$  es la relación entre el máximo desplazamiento lateral inelástico y el desplazamiento máximo del modelo elástico lineal;  $\beta_4$  es la relación entre los factores  $\beta_2$  elástico e inelástico;  $\rho$  y  $\eta$  son factores que permiten estimar el periodo fundamental de la estructura a partir del número de pisos,  $N$ ;  $h$  es la altura de cada piso de la estructura que depende de la tipología estructural, la ubicación geográfica y el año de construcción;  $S_a(T)$  es la aceleración espectral que depende del periodo de vibración fundamental de la estructura,  $T$ , el amortiguamiento estructural y la amenaza sísmica en el lugar del edificio.

En síntesis, cada curva 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 (Figura 6.8). Es decir, que es posible que edificios “idénticos” presenten niveles de daño diferentes para un mismo evento sísmico, dado que pueden existir pequeñas diferencias en su construcción que no son posibles de deducir. Las curvas de vulnerabilidad intentan caracterizar las tipologías constructivas y su variabilidad en el daño, para esto es necesario evaluar más de un edificio y obtener una distribución de posibles valores.



**Figura 6.8.** Curva de vulnerabilidad con su valor medio de daño y su varianza

#### 6.2.1.4. Evaluación del riesgo físico y económico

La estimación del riesgo tiene como objetivo calcular las distribuciones de probabilidad de las pérdidas<sup>7</sup> que se pueden presentar en el inventario de activos expuestos en un tiempo de exposición dado como consecuencia de la ocurrencia de eventos catastróficos, considerando las incertidumbres existentes en las diferentes partes de la modelización. Las pérdidas que se pueden presentar en un conjunto de elementos expuestos es una cantidad incierta, y por lo tanto se debe considerar como una variable aleatoria.

Para calcular las pérdidas, la tasa de daño obtenida en el módulo de vulnerabilidad se transforma en pérdidas económicas multiplicando dicha tasa por el valor de reposición de cada elemento. La pérdida se evalúa mediante la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad; es decir, que se calculan todas las combinaciones posibles de la distribución de pérdidas y sus probabilidades asociadas, dada la distribución de probabilidades separadamente. En otras palabras, se calcula la pérdida esperada para cada uno de los elementos del conjunto de activos expuestos para cada escenario o evento que caracteriza la amenaza. Posteriormente, las pérdidas se agregan en forma probabilista, incluyendo el nivel de correlación entre ellas, para obtener la probabilidad de excedencia de pérdidas dado que ocurre un evento. La distribución de probabilidad de la pérdida para cada evento se obtiene concatenando las distribuciones

<sup>7</sup> La distribución de probabilidad de la pérdida se determina para un conjunto de elementos expuestos. Determinarla para un solo edificio es poco práctico: dadas las incertidumbres inherentes del análisis tanto de la amenaza como de la vulnerabilidad. Basándose en la ley de los grandes números, en cuanto mayor es el número de elementos el comportamiento tenderá a estar cerca de la media.

de probabilidad de amenaza y de vulnerabilidad de los elementos expuestos como se ilustra en la ecuación (6.23 (Ordaz *et al.* 1998; Ordaz 2000; Arámbula *et al.* 2001).

$$\Pr(P > p|Evento) = \int_0^{\infty} \Pr(P > p|S_a) p_{S_a}(S_a|M, R) dS_a \quad (6.23)$$

El primer término,  $\Pr(P > p|S_a)$ , es la probabilidad de que la pérdida exceda el valor  $p$  dado que la intensidad local fue  $S_a$ . Este término, por tanto, toma en cuenta la incertidumbre que hay en las relaciones de vulnerabilidad. Por otro lado, el término  $f(S_a|M, R)$  es la densidad de probabilidades 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.

El riesgo de pérdidas por sismo comúnmente se expresa con la Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP) que, como ya se describió en apartes anteriores, representa la frecuencia anual con el cual una pérdida de un valor específico puede ser igualada o excedida.

Por su naturaleza, una CEP incorpora inherentemente una incertidumbre asociada con la probabilidad de ocurrencia de los eventos y la magnitud de las pérdidas. La incertidumbre puede reducirse si el número de elementos expuestos aumenta y se incrementa si el conjunto disminuye. Significa que entre más activos se incluyan en el análisis la certeza relativa será mayor (situación que se presenta por la denominada ley de los grandes números). A partir de la CEP, como se describió previamente, se pueden obtener otras métricas apropiadas como la Prima Pura de Riesgo o Prima Técnica para cada registro y para todo el grupo de edificaciones, y la Pérdida Máxima Probable de todo el grupo de edificaciones (Ordaz *et al.* 2003; Cardona *et al.* 2008d).

El riesgo de pérdida por sismo comúnmente se expresa con la Curva de Excedencia de Pérdidas (*Loss Exceedance Curve*) que representa la frecuencia anual con el cual una pérdida de una cantidad monetaria específica puede ser igualada o excedida. La frecuencia anual o tasa de excedencia puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} \Pr(P > p|Evento_i) F_A(Evento_i) \quad (6.24)$$

Donde  $p$  es la suma de las pérdidas de todos los elementos expuestos<sup>8</sup>,  $v(p)$  es la tasa de excedencia de la pérdida  $p$  y  $F_A(Evento_i)$  es la frecuencia anual de ocurrencia del evento  $i$ , mientras que  $\Pr(P > p|Evento_i)$  es la probabilidad de que la pérdida sea superior a  $p$ , dado que ocurrió el  $i$ -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de  $v(p)$  es el periodo de retorno de la pérdida  $p$ .

<sup>8</sup> Esta pérdida es incierta dada la incertidumbre de la amenaza y de la vulnerabilidad por lo que su valor no se conoce con precisión, por lo tanto se trata como una variable aleatoria y le corresponde una distribución de probabilidad.

La *Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP)* es la medida de riesgo catastrófico más importante para los encargados del riesgo, dado que estima la cantidad de fondos requeridos para alcanzar los objetivos de la gestión de riesgos. Una *CEP* se construye para un portafolio cubriendo múltiples sitios distribuidos sobre un área geográfica amplia. Se puede calcular para la probabilidad de que el evento individual más grande del año supere un umbral de pérdida (*OEP- Occurrence Exceedance Probability*) o para la probabilidad de que la suma de todos los eventos en un año supere un umbral de pérdida (*AEP - Aggregate Exceedance Probability*) (Cardona 2002). El procedimiento apropiado es tener en cuenta todos los escenarios posibles con la curva de probabilidad de excedencia de intensidades, especialmente para los propósitos de gestión de riesgos.

Por su naturaleza, una *CEP* incorpora inherentemente una incertidumbre asociada con la probabilidad de ocurrencia de los eventos y la magnitud de las pérdidas económicas. La incertidumbre puede reducirse si el número de elementos expuestos aumenta y se incrementa si el conjunto disminuye, significa que entre más activos se incluyan en el análisis, la certeza relativa será mayor (ley de los grandes números).

A partir de la *CEP* se pueden obtener otras métricas apropiadas para el análisis financiero de las pérdidas como la Prima Pura de Riesgo o Prima Técnica para cada registro y para todo el grupo de edificaciones, y la Pérdida Máxima Probable de todo el grupo de edificaciones (Ordaz *et al.* 2003; Cardona *et al.* 2008d).

## 6.2.2. Medidas del déficit potencial debido a riesgo intensivo

En el marco del programa de “Indicadores de riesgo de desastres y gestión del riesgo para las Américas”, desarrollado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se propuso y se aplicó el Índice de Déficit por Desastre (IDD) <sup>9</sup> el cual está relacionado con el impacto macroeconómico potencial y ha sido útil para dar cuenta de la vulnerabilidad fiscal de un país en relación con el riesgo de desastre. Este indicador ha sido actualizado en 2009, 2011 y en 2013 para la mayoría de los países de la región de América Latina y el Caribe siguiendo la metodología que aquí se describe. Por otra parte en el marco del *Global Risk Model* desarrollado para el *Global Assessment Report 2013*, se calcularon indicadores del mismo tipo que siguen la misma filosofía del IDD (CIMNE *et al.* 2013c; UNISDR 2013).

### 6.2.2.1. Índice de Déficit por Desastre (IDD)

El IDD refleja el riesgo del país desde una perspectiva macroeconómica y financiera ante eventos catastróficos probables para lo cual es necesario estimar la situación de impacto más crítica en un tiempo de exposición y la capacidad financiera del país para hacer frente a dicha situación. Este índice mide la pérdida económica que un país en particular puede sufrir, cuando un evento catastrófico tiene lugar, y las

---

<sup>9</sup> Los fundamentos técnicos y detalles del IDD se pueden encontrar en el Informe Técnico Principal del Programa de Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos para las Américas (IDEA, 2005).

implicaciones en términos de los recursos necesarios para enfrentar la situación. La construcción del IDD requiere realizar un pronóstico de las pérdidas potenciales, como la PML y la PAE calculadas utilizando un modelo probabilista como el descrito previamente, basado en evidencias históricas y científicas.

El IDD corresponde a la relación entre la demanda de fondos económicos contingentes para cubrir la responsabilidad fiscal o pérdidas potenciales,  $L_R^P$ , que debe asumir el sector público a causa de un Evento Máximo Considerado (EMC) –que puede ser la PML (ASTM 1999)– y la resiliencia económica presente de dicho sector,  $R_E^P$ , correspondiente a la disponibilidad o acceso a fondos internos y externos del país para restituir el inventario afectado<sup>10</sup>. Así, el IDD es calculado mediante la ecuación:

$$IDD = \frac{L_R^P}{R_E^P} \quad (6.25)$$

donde

$$L_R^P = \phi L_R \quad (6.26)$$

$L_R^P$  representa el impacto económico directo máximo, en términos probabilistas, en los activos públicos y privados que sean responsabilidad del gobierno. Este valor es una fracción  $\phi$  del impacto directo total,  $L_R$ , el cual está asociado al EMC de una intensidad,  $I_R$ , y cuya tasa anual de excedencia (o período de retorno,  $R$ ) se define igual para todos los países (por ejemplo períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, que equivalen a 18%, 10% y 2% respectivamente de probabilidades de excedencia en un periodo de exposición de 10 años). Esta pérdida total,  $L_R$ , puede ser valorada como sigue:

$$L_R = EV(I_R F_S)K \quad (6.27)$$

donde  $E$  es el valor económico de las propiedades expuestas;  $V(\cdot)$  es la función de vulnerabilidad, que relaciona la intensidad del evento con la fracción del valor que se pierde si se presenta un evento de tal intensidad;  $I_R$  es la intensidad del evento asociada al periodo de retorno seleccionado;  $F_S$  es un factor que corrige intensidades que dan razón de efectos de sitio locales; y  $K$  es un factor que corrige la incertidumbre en la función de vulnerabilidad. La resiliencia económica,  $R_E^P$  (denominador del índice), está definida por la ecuación (6.28):

$$R_E^P = \sum_{i=1}^n F_i^P \quad (6.28)$$

donde  $F_i^P$  representa los posibles fondos internos o externos que frente al daño el gobierno, como responsable de la recuperación o propietario de los bienes afectados, puede acceder en el momento de la evaluación. El acceso a dichos fondos tiene

---

<sup>10</sup> Un enfoque similar para estimar la falta de recursos ha sido propuesto por Freeman et al. [2002]. En dicho informe se afirma que la capacidad de contar con los fondos necesarios para la reconstrucción inmediatamente después de ocurrido un desastre es crucial para que un país pueda recuperarse con un mínimo de consecuencias a largo plazo.

restricciones y costos asociados por lo cual es necesario estimarlos como valores factibles de acuerdo con las condiciones macroeconómicas y financieras de cada país. Esta capacidad financiera para enfrentar la situación tiene en cuenta:

- a) El pago de seguros y reaseguros que aproximadamente recibiría el país por los bienes y la infraestructura asegurada del gobierno;
- b) las reservas disponibles en fondos para desastres con los que cuenta el país en el año de la evaluación;
- c) los valores que pueden recibirse como ayudas y donaciones, tanto públicas como privadas, nacionales como internacionales;
- d) el valor posible de nuevos impuestos que cada país podría recaudar adicionalmente en caso de un desastre mayor;
- e) el margen de reasignación presupuestal del país, que usualmente corresponde al margen de gastos discrecionales del gobierno;
- f) valor factible de crédito externo que puede obtener el país con los organismos multilaterales y en el mercado de capitales en el exterior; y
- g) el crédito interno que puede obtener el país con los bancos comerciales y en algunos casos con el banco central.

La Figura 6.9 ilustra un esquema de la forma como se calcula el  $IDD_{EMC}$ .

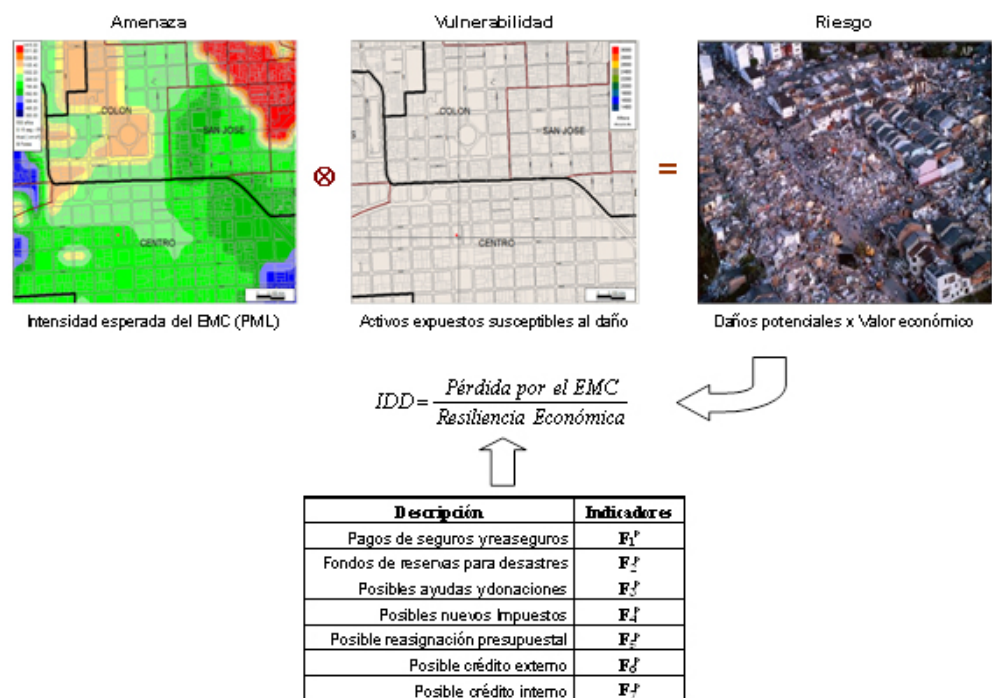


Figura 6.9. Descripción esquemática del cálculo del  $IDD_{EMC}$



El IDEA (2005) presenta un método para estimar los impuestos en transacciones financieras. Adicionalmente presenta un modelo para calcular la situación financiera externa de un país y el acceso a crédito interno. Es importante indicar que esta estimación es propuesta considerando las restricciones o valores factibles en cada caso y sin considerar los posibles costos asociados por acceder a algunos de estos fondos y costos de oportunidad.

Un  $IDD_{EMC}$  mayor que 1.0 refleja la incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos aún cuando aumente al máximo su deuda. A mayor  $IDD_{EMC}$  mayor será el rango entre las pérdidas y la capacidad del país para enfrentarlos. Si existen restricciones para el endeudamiento adicional, esta situación implicaría la imposibilidad para recuperarse.

Hay otros dos tipos de IDD relevantes para dar cuenta del pasivo contingente que significan las posibles futuras pérdidas para un país a causas de eventos catastróficos:

El  $IDD'$ , que sirve complementariamente para ilustrar qué porción de los gastos de capital (GC) del país,  $E_C^P$ , corresponde la pérdida anual esperada,  $L_y^P$ , o prima pura de riesgo. Es decir qué porcentaje de la inversión sería el pago anual por desastres futuros.

$$IDD' = \frac{L_y^P}{E_C^P} \tag{6.29}$$

En este caso el valor de la prima pura es equivalente a la inversión o ahorro promedio anual que tendría que hacer el país para cubrir aproximadamente sus pérdidas por desastres futuros. En caso de que las pérdidas anuales representen una fracción significativa de la inversión de capital del país se prevé que con el tiempo habría un déficit por desastres que implicarían el inevitable aumento de la deuda. Es decir, que el país no cuenta con suficientes recursos para atender futuros desastres. En caso de que existan restricciones para el endeudamiento adicional implicaría la imposibilidad de recuperarse.

Por otra parte el  $IDD''$ , relaciona el valor de la prima pura con respecto al monto de recursos sostenible por superávit intertemporal,  $F_S^P$ . Es decir el porcentaje que representaría la prima técnica del ahorro potencial a valor presente, como lo expresa la ecuación (6.30).

$$IDD'' = \frac{L_y^P}{F_S^P} \tag{6.30}$$

El monto de recursos sostenible por superávit intertemporal,  $F_S^P$ , es el ahorro que el gobierno puede destinar, calculado a 10 años, para atender de la mejor manera los efectos de los desastres (ver IDEA 2005). Lo que interesa conocer es si el gobierno, desde un punto de vista ortodoxo, cumple con su restricción presupuestal intertemporal, es decir, si las trayectorias de flujos de gastos e ingresos garantizan –en términos de valor presente– que los superávit primarios corrientes y futuros permiten cancelar el *stock* de deuda actual. Es decir, la disciplina financiera exige reconocer que la acción del gobierno tiene límites y que su capacidad financiera para enfrentar los

desastres debe cumplir con la restricción intertemporal de las finanzas públicas. En caso de que las pérdidas anuales excedan el monto de recursos disponibles por superávit se prevé que con el tiempo habría un déficit por desastres que implicarían el inevitable aumento de la deuda. Es decir, que el país no cuenta con suficientes recursos para atender futuros desastres. En caso de que existan restricciones para el endeudamiento adicional implicaría la imposibilidad de recuperarse. En general, si el superávit intertemporal es negativo el pago de la prima sencillamente aumentaría el déficit ya existente.

Para la evaluación de estos índices es necesario evaluar las posibles pérdidas económicas en el país debido a fenómenos naturales utilizando un método simplificado para el dimensionamiento del inventario de los activos expuestos con base en valores *proxy* validados en cada país. Básicamente, un conjunto de parámetros se estiman utilizando el costo por metro cuadrado de los tipos de construcciones, el número de metros cuadrados construidos en cada una de las principales ciudades en relación con el número de habitantes y la distribución de las áreas construidas de los portafolios de edificios públicos y privados; inventario de activos que, en caso de desastre, sería una responsabilidad fiscal. No obstante, utilizando técnicas de evaluación del riesgo desde un enfoque probabilista; por ejemplo, como las que se utilizan para la realización de un Perfil de Riesgo Catastrófico usando el CAPRA se pueden obtener resultados con un mayor nivel de precisión a nivel nacional e incluso a nivel de ciudades. La utilización de modelo de riesgo probabilista más detallado es en general más exacto debido a los mayores detalles del *proxy* de la exposición y del tipo de supuestos realizados para reflejar los efectos físicos directos. En este caso los índices tienden a ser menores que los calculados por el método original simplificado, principalmente porque este último es más conservador y *coarse grain* y ha sido calibrado para incluir los daños no estructurales y los efectos económicos indirectos. En cualquier caso, ambos métodos permiten a los funcionarios gubernamentales usar el modelo con un relativamente menor esfuerzo y sin tener la necesidad de tener datos catastrales muy detallados.

En general, la filosofía de los IDD es dar cuenta del tamaño relativo de las pérdidas y de la capacidad de los países para enfrentarlas. Utilizando métricas de riesgo como la PML o la PAE es posible dimensionar el efecto económico potencial para un país al normalizar las pérdidas por variables de flujo como el PIB, el capital producido, el *stock* de capital, la formación bruta de capital fijo, el ahorro, entre otras que reflejan la relevancia de las pérdidas en el contexto en que se presentan. Con este enfoque en el marco del *Global Assessment Report 2013* (CIMNE *et al.* 2013b; UNISDR 2013) se hizo por primera vez una evaluación probabilista del riesgo sísmico y por viento debido a ciclones tropicales, utilizando una exposición de píxeles de 5 km x 5 km en todo el mundo; lo que ha significado el desarrollo del, ahora, denominado *Global Risk Model*. En el Capítulo 8 se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas con los IDD del Sistema de Indicadores del BID, el cual se aplicó a 24 países de las Américas. Igualmente, se presentan los resultados de indicadores similares a los IDD pero utilizando otras variables de normalización para 205 países, los cuales se construyeron con otras variables de flujo.

En resumen, cada IDD o indicador equivalente, da una idea interesante y útil para un Ministerio de Finanzas y de Economía, del problema potencial de sostenibilidad financiera para el país que pueden significar los desastres. Por otro lado, dan una

imagen compacta de la vulnerabilidad fiscal del país a causa de desastres. Estos indicadores permiten dimensionar, de una manera sencilla, la exposición fiscal y el déficit potencial (o pasivos contingentes) del país a causa de desastres extremos. Permiten a los tomadores de decisiones del nivel nacional tener una dimensión del problema presupuestal que tendría el país y la necesidad de considerar este tipo de cifras en la planificación financiera (Freeman *et al.* 2002a). Estos resultados ratifican la necesidad de identificar y proponer posibles políticas y acciones efectivas como la protección de los recursos del gobierno mediante el uso de seguros y reaseguros (mecanismos de transferencia) o establecer fondos de reservas con base en criterios adecuados de retención de pérdidas. Otras acciones incluyen contratación de créditos contingentes y, en particular, la necesidad de invertir en medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación para reducir los daños y pérdidas y de esta forma el impacto económico futuro de los desastres.

### **6.3. Riesgo por eventos menores y recurrentes**

En el Capítulo 2 y las secciones anteriores se ha hecho referencia a lo que se puede entender como riesgo intensivo y extensivo. El riesgo intensivo está asociado a la potencial ocurrencia de eventos extremos o catastróficos, que son usualmente notables y por los cuales, debido principalmente al papel de la industria de los seguros y el mercado de capitales, existe cada vez mayor interés. Algunos tomadores de decisiones tienen cada vez una mayor consciencia en la necesidad de valorar la responsabilidad fiscal ante este tipo de eventos, dadas las grandes consecuencias que se pueden generar por la correlación o simultaneidad de pérdidas o efectos en la población y sus implicaciones económicas.

El riesgo extensivo, por otra parte, se refiere al riesgo por eventos menores y recurrentes, que como ya se ha señalado se debería, también, tener muy en cuenta por parte de los gobiernos. Este tipo de riesgo tiene asociados importantes efectos financieros y sociales, no obstante que es un riesgo que usualmente es subestimado. El no contar con la valoración de las pérdidas causadas por este tipo de eventos ha limitado el interés por sus consecuencias, efectos acumulativos e implicaciones, aun cuando enfrentar de manera casi permanente este tipo de eventos crónicos conlleva a un alto desgaste administrativo.

Al no existir una claridad de los impactos que los eventos menores pueden generar, los gobiernos realmente no los tienen en cuenta y por lo tanto no se establecen estrategias de mitigación ni se estiman recursos económicos para afrontarlos. Los eventos o desastres menores están normalmente relacionados con fenómenos persistentes como deslizamientos, avalanchas, inundaciones, incendios forestales, sequías, que son el resultado de procesos socio-naturales asociados con la variabilidad climática y el deterioro ambiental que afectan de manera crónica el nivel local y los estratos socioeconómicos más frágiles de la población. Estos análisis son fundamentales para la definición de criterios que ayuden a la toma de decisiones en problemas que no solamente son de gestión del riesgo sino también de ordenamiento territorial, protección ambiental, desarrollo social y sectorial. Es urgente reconocer la

necesidad de reducir la vulnerabilidad y de aumentar la capacidad de adaptación de las comunidades; es decir, la gestión del riesgo no sólo significa para una sociedad asumir con responsabilidad las acciones que reduzcan el cambio climático sino también combatir la marginalidad, la exclusión y la disparidad social que son factores que explican por qué los desastres, son mayores o menores, se construyen socialmente y que no son más que problemas de desarrollo aún no resueltos (Marulanda *et al.* 2006; 2010; 2011).

Los métodos probabilistas para evaluación del riesgo explicados previamente no son fácilmente adaptables para el análisis del riesgo cuando se trata de eventos menores, dado que sus consecuencias no están correlacionadas. Los resultados obtenidos con ese tipo de modelización no son muy confiables para el rango de pérdidas causadas por eventos menores, que usualmente son puntuales. Los análisis probabilistas son más robustos (por los supuestos realizados analíticamente) para dar cuenta del riesgo por eventos mayores o extremos, por ejemplo a partir de 100 millones de dólares, como lo señala la UNISDR (2011)

### 6.3.3. Medidas del déficit potencial debido a riesgo intensivo

En el programa de “Indicadores de riesgo de desastres y gestión del riesgo en las Américas”, desarrollado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se propuso y se aplicó el Índice de Desastres Locales (IDL)<sup>11</sup> utilizando la base de datos DesInventar; la cual ha sido de especial utilidad para capturar eventos o desastres menores a nivel local. Este índice representa qué tan propenso es un país a la ocurrencia de desastres menores y el impacto acumulativo que causa este tipo de eventos al desarrollo local, e intenta representar la variabilidad y dispersión espacial del riesgo al interior del país como resultado de eventos menores y recurrentes (riesgo extensivo).

El IDL es un índice que capta de manera simultánea la incidencia y la uniformidad de la distribución de efectos a nivel local, es decir da cuenta del peso relativo y la persistencia de los efectos causados por los diferentes fenómenos que originan desastres en la escala municipal. Un mayor valor relativo del IDL significa una mayor regularidad de la magnitud y la distribución de los efectos entre todos los municipios de un país, debido a los diferentes tipos de fenómeno que los originan. Un menor valor del IDL significa baja distribución espacial de los efectos entre los municipios donde se han presentado eventos.

El IDL original fue evaluado teniendo en cuenta los efectos de los fenómenos extremos (Cardona 2005; IDEA 2005). Esto significa que las evaluaciones que se han hecho hasta ahora han incluido los efectos de todos los desastres, tanto menores y frecuentes como extremos y esporádicos. De acuerdo con los planteamientos aquí realizados dicho IDL sería mejor denominarlo “Índice de Efectos Locales” (IEL). Desde el punto de vista de los criterios aquí planteados para tener un “Índice de Desastres

---

<sup>11</sup> Los fundamentos técnicos y detalles del IDL se pueden encontrar en el Informe Técnico Principal del Programa de Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos para las Américas (IDEA 2005).

Locales” propiamente dicho, el valor debe estar basado sólo en los efectos de desastres de menor escala; la mayoría de ellos considerados como locales. Por lo tanto, lo que se propone aquí alternativamente es que se identifiquen los eventos extremos o *outliers* y se excluyan de la base de datos DesInventar. De esta manera los resultados del índice calculado podrían ser considerados realmente como los de un Índice de Desastres Locales, pues estos resultados son en efecto muy diferentes y son los que permiten proponer el concepto de riesgo extensivo, que ha sido de especial utilidad en los análisis realizados en el marco del *Global Assessment Report* (GAR) de 2009 (UNISDR 2009) y posteriores ediciones en 2011 y 2013.

Ahora bien, aparte de extraer de la base de datos DesInventar los efectos de los desastres extremos o mayores, se propone un cambio en la formulación analítica del IDL para mejorar el indicador. Por otra parte, se considera necesario redefinir los Índices de Persistencia por tipo de eventos del IDL original de la siguiente manera (Marulanda *et al.* 2006; 2010; 2011).

Definido el IDL como el resultado de aplicar la ecuación 6.31; es decir, como la suma de los tres subíndices para muertos  $K$ , afectados  $A$  y pérdidas  $L$ :

$$IDL = IDL_K + IDL_A + IDL_L \quad (6.31)$$

Se plantea la reformulación de los subíndices de desastres locales para cada tipo de variable ( $K, A, L$ ) utilizando la ecuación 6.32,

$$IDL_{(K,A,L)} = \left( 1 - \sum_{e=1}^E \left( \frac{IP_e}{100} \right)^2 \right) \lambda_{(K,A,L)} \quad (6.32)$$

$\lambda$  es un coeficiente de escalamiento e  $IP_e$ , como lo expresa la ecuación(6.33), corresponde al Índice de Persistencia de los efectos ( $K, A, L$ ) causados por cada tipo de evento  $e$ ; que en este caso son cuatro: i) deslizamientos y flujos, ii) fenómenos sismotectónicos, iii) inundaciones y tormentas y iv) otros eventos,

$$CL_{em(K,A,L)} = \frac{x_{em}x_{eC}}{x_m x_C} \eta_{(K,A,L)} \quad (6.33)$$

donde los valores de la variable  $x$  en consideración, correspondiente a  $K, A$  o  $L$ , son:

- $x_{em}$  el valor  $x$  causado por el tipo evento  $e$  en el municipio  $m$ ;
- $x_m$  la suma total de  $x$  para todos los tipos de eventos en el municipio  $m$ ;
- $x_{eC}$  el valor de  $x$  para el tipo de evento  $e$  en el todo el país;
- $x_C$  la suma total de  $x$  en todo el país, y
- $\eta$  es la relación entre el total de tipos de evento  $E$  y el total de municipios del país  $M$ , en los cuales se ha presentado algún efecto.

Los Índices de Persistencia captan simultáneamente, para un período dado, la incidencia –o concentración relativa– y la homogeneidad de los efectos a nivel local de cada tipo de evento con respecto a los demás municipios y tipos de evento en todo el

país considerado. En la formulación original de este índice no se definió ninguna escala para la comparación de los resultados entre los tipos de eventos. Por lo tanto, se propone un proceso de normalización para tener un valor mínimo y máximo para  $IP_e$  (0 y 100). Cuando el valor se aproxima a 0 significa que no hay incidencia ni distribución similar de efectos debido a un tipo de evento, y cuando se acerca a 100 significa que son altos con respecto a los otros tipos de eventos. Consecuentemente, esta nueva formulación permite ver claramente cual tipo de evento tiene mayor incidencia y regularidad en los municipios del país que se estudia.

Se debe tener en cuenta que con base en estas variables de los diferentes eventos, se ha construido el IDL, sin embargo es importante indicar que el IDL es una medida que combina la persistencia de los efectos y la regularidad de su incidencia a nivel territorial y, por lo tanto, para determinar el IDL, las cifras han sido normalizadas por el área de los municipios. Los resultados de este tipo de análisis son útiles para el análisis económico y sectorial, con el fin de promover políticas de desarrollo urbano y rural ya que detectan la persistencia y acumulación de los efectos de los desastres locales. Igualmente pueden estimular la consideración de problemas de riesgo en el ordenamiento territorial a nivel local, la intervención y protección de cuencas hidrográficas y la justificación de la transferencia de recursos a los municipios y comunidades con fines específicos de gestión del riesgo.

#### **6.3.4. Curva de excedencia empírica utilizando desastres menores**

Sin pretender resolver la complejidad de la evaluación del impacto de los desastres, es importante ilustrar, con una técnica simplificada, el costo indicativo que hubiesen tenido que asumir los gobiernos centrales, si se hubiera cubierto en el pasado la reposición, reparación o reconstrucción de los activos afectados por desastres menores. Esto en función de los limitados datos disponibles de los efectos ocurridos, que usualmente son 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 trate de una valoración económica hipotética, simplificada y conservadora, una valoración de este tipo 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. De esta manera se revela, a través de las cifras de los eventos históricos y el uso de la curva empírica de excedencia de pérdidas, 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 da una idea de los recursos económicos que deberían tener los gobiernos para atender la reposición de activos y medios de sustento de los eventos más recurrentes.

Para obtener la curva de excedencia empírica es necesario valorar los activos expuestos, Existen varias metodologías para estimar el costo de los desastres. Una de las más utilizadas es la descrita en el "Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres" (CEPAL 2003). Esta técnica contiene una guía que orienta la manera como se puede hacer una estimación del costo económico de

los desastres. En desastres usualmente mayores o relevantes para los gobiernos nacionales y los organismos internacionales esta técnica ha sido utilizada para dar cuenta de este tipo de eventos, por solicitud expresa de los gobiernos, sin embargo el detalle de la información requerida, la necesidad de contar con especialistas en diferentes sectores y el tiempo necesario para su correcta aplicación hacen inviable su uso cuando se trata de estimar el costo de cientos o, en ocasiones, de miles de desastres menores registrados en el nivel local.

A pesar que no siempre una metodología detallada como la mencionada puede aplicarse en su totalidad, para el caso de desastres mayores se reconoce que es la mejor opción, si se hace un esfuerzo para determinar no sólo el costo sino el impacto del desastre de acuerdo con los diferentes contextos. Esto se traduce en la necesidad de llevar a cabo la reflexión de para quién es el desastre y sus implicaciones. Ahora bien, para el caso de los muchos desastres menores que se presentan en la mayoría de los países, dadas las limitaciones prácticas del uso de métodos detallados de valoración de efectos directos e indirectos y por la ausencia obvia de información, se ha desarrollado una técnica simplificada de valoración, basada en la reposición de activos, para efectos de dar cuenta de las implicaciones que tienen los desastres en lo local y al mismo tiempo en forma acumulada y recurrente para un país o una región (CIMNE *et al.* 2013b). Su enfoque no es la valoración de lo que se ha destruido (e.g. una vivienda precaria) sino la valoración de la reposición o el reemplazo del activo como resultado de la responsabilidad fiscal del estado (e.g. una vivienda básica o de interés social).

Esta metodología permite valorar los principales efectos de los desastres, de los cuales se disponga una información básica, de manera que al utilizar las bases de datos de desastres se pueda contar con información indicativa para caracterizar tanto la recurrencia como el costo de los desastres en una región o en un país. La metodología actual es más simplificada que la que se utilizó en el estudio realizado para el GAR 2011, no obstante su enfoque puede ser suficiente para el objetivo de dimensionar el costo de los desastres, utilizando la base de datos DesInventar<sup>12</sup>. Esta base de datos, como ya se ha mencionado, provee información de los efectos en la población y de los daños que se han presentado por diferentes tipos de evento; e.g. sismos, inundaciones, deslizamientos, volcanes, huracanes y otros.

La información necesaria de la base de datos para la evaluación debe incluir variables fuertes o robustas como el tipo de evento causante del desastre, la fecha de ocurrencia del mismo, su ubicación geográfica; y otras variables menos robustas pero creíbles como el número de muertos y afectados, el número de viviendas destruidas y afectadas. Igualmente es deseable contar con variables como el número de hectáreas de cultivos afectados, vías afectadas, sin embargo, este tipo de información normalmente no se incluye con buena precisión pues es necesario un mayor detalle de sus daños para lograr inferir las pérdidas económicas y otras afectaciones derivadas.

---

<sup>12</sup> Para una información detallada sobre la concepción, metodología y utilización de DesInventar ver:

[www.desinventar.org](http://www.desinventar.org), especialmente los manuales metodológicos y del usuario que allí aparecen. También puede consultarse el trabajo realizado por LA RED-OSSO para el PNUD-EIRD "Análisis Comparativo de Bases de Datos de Desastres EmDat-DesInventar" enero de 2003, en [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)

Algunos de los problemas que usualmente se presentan en las bases de datos de desastres en cuanto a la información de sus efectos son las cifras registradas. Los datos en ciertas ocasiones pueden venir de la observación pero no de fuentes específicas donde se puedan comprobar, o en casos de fuentes oficiales los datos podrían ser “inflados” dependiendo de las coyunturas políticas, otra fuente de error son las equivocaciones en la digitación de los datos. Por otro lado, existen registros donde no se especifica la cuantificación de los daños o afectados y sólo se conoce la presencia de efectos. Por lo tanto, es necesario hacer una depuración de la base de datos para obtener finalmente los registros verificados y con cifras lógicas que sirvan como base para la evaluación. Es importante aclarar que los resultados que se obtienen no son definitivos, se hacen muchas aproximaciones y no todos los impactos se consideran dentro del análisis; los resultados son aproximados y sirven para reflejar y dar un orden de magnitud del impacto de los desastres menores en una región o un país.

En general, la información del DesInventar puede considerarse razonablemente creíble y consistente después de cierta depuración y útil por las siguientes razones:

- a. Una vez los efectos han sido valorados con criterios coherentes con el propósito del análisis, permite estimar las consecuencias económicas de los eventos y facilita la estimación en forma confiable de cuáles de dichos eventos dominan o controlan las mayores pérdidas en un país o región.
- b. Complementa los resultados de la evaluación analítica o prospectiva del riesgo, ya que permite definir en forma empírica la curva de excedencia de pérdidas para los eventos de menor intensidad. En este segmento de la curva de excedencia de pérdidas, usualmente, las evaluaciones analíticas son poco confiables.
- c. Sirve como referente para contrastar el costo de desastres ocurridos con estimaciones de pérdidas realizadas con modelos analíticos de evaluación del riesgo físico, utilizando para el efecto escenarios específicos deterministas.

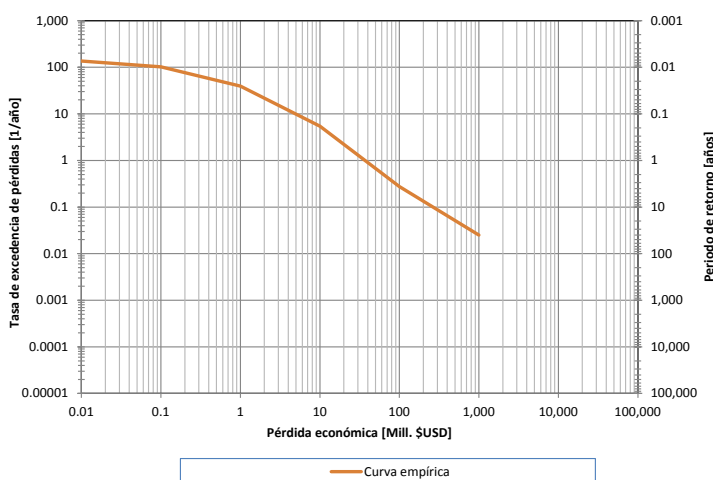
Para darle un tratamiento consistente y en cierta forma similar a los eventos menores el consorcio ERN-AL propuso, para el Informe de Estimación Global 2011 - *Global Assessment Report, GAR2011* – (UNISDR 2011) el desarrollo empírico de la curva de excedencia de pérdidas para eventos menores y recurrentes, con base en una serie de supuestos para su valoración económica, utilizando un inventario histórico de desastres. Para el efecto se utilizó la base de datos DesInventar<sup>13</sup> que cumple con ese tipo de características. A modo de ilustración en el informe mencionado, se realizaron las curvas de excedencia empírica para tres países (Colombia, México y Nepal) y para el GAR 2013 se realizó la valoración económica de los eventos y la curva de excedencia empírica para otros 23 países (CIMNE *et al.* 2013c). La Figura 6.10 ilustra una curva de

<sup>13</sup> Para una información detallada sobre la concepción, metodología y utilización de DesInventar ver:

[www.desinventar.org](http://www.desinventar.org), especialmente los manuales metodológicos y del usuario que allí aparecen. También puede consultarse el trabajo realizado por LA RED-OSSO para el PNUD-EIRD “Análisis Comparativo de Bases de Datos de Desastres EmDat-DesInventar” enero de 2003, en [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)



excedencia empírica obtenida de la valoración económica de los efectos de la base de datos DesInventar.



**Figura 6.10.** Curva de excedencia empírica de Colombia obtenida para un período de 40 años

Con base en estos resultados se pueden desarrollar las curvas de excedencia de pérdidas para la totalidad de los eventos y posteriormente se puede integrar con la curva de excedencia de pérdidas catastróficas o curva analítica, de manera que puede contar con una curva completa de pérdidas o “curva híbrida” de excedencia de pérdidas, que se convierte en un insumo indispensable para la estimación de los niveles de pérdidas y para el desarrollo de estructuras de retención y transferencia del riesgo. Actualmente, existe este tipo de evaluación para Colombia, México y Nepal (ERN-AL 2011) y para Bolivia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Perú, Venezuela (CIMNE *et al.* 2013c. La Figura 6.11 ilustra la curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia (ERN-AL 2011; Cardona *et al.* 2012a).

La modelización del análisis de pérdidas por eventos menores y recurrentes sigue en proceso de desarrollo y mejoramiento metodológico. Sin embargo, se describe esta innovadora metodología dado que en los últimos años el impacto de los desastres menores y recurrentes se ha convertido en un tema de interés no solo para los gobiernos sino también para organizaciones internacionales. En los resultados obtenidos con esta metodología se supone lo que significaría reponer, reparar o compensar las pérdidas que ocurrieron, en otras palabras, permitiría establecer el orden de magnitud de los recursos que debería tener el Estado para atender su responsabilidad fiscal. Las pérdidas por este tipo de desastres frecuentemente no las cubre un seguro por lo que las medidas más efectivas a tratar serían las acciones de prevención y mitigación o mecanismos de retención del riesgo como por ejemplo los fondos de reservas

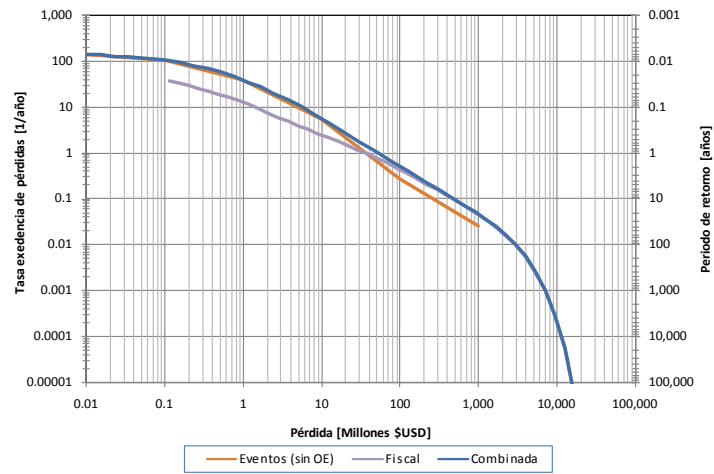


Figura 6.11. Ejemplo de curva híbrida de excedencia de pérdidas para Colombia. Fuente: UNISDR 2011



## Capítulo 7.

# **ESTRATEGIA DE RETENCIÓN Y TRANSFERENCIA DEL RIESGO**

El diseño de una estructura de transferencia y retención de pérdidas implica obtener los valores totales de pérdidas y de primas que permitan tener un referente bien soportado de los estudios de riesgo con base en información detallada tanto de la amenaza por fenómenos naturales como de los datos de exposición y vulnerabilidad de cada portafolio; tal como se describió en el Capítulo anterior sobre modelización del riesgo. Cuando no existen estudios previos de protección financiera se refleja claramente la ineficiencia y los perjuicios que se derivan de un proceso de transferencia (aseguramiento) disperso, sin unos criterios adecuados de negociación y sin el aprovechamiento que surge al contratar mecanismos financieros (e.g. el seguro) de un portafolio frente a contratar cada uno de sus componentes por separado de acuerdo con los fundamentos de la transferencia del riesgo. Por lo cual, desde la perspectiva gubernamental, es necesario superar la ineficiencia administrativa e intentar pasar de un mecanismo individual de contratación a un mecanismo unificado y masivo en el cual el proceso administrativo de contratación de la transferencia del riesgo se simplifique y se logre una mayor eficiencia técnica y financiera.

Las entidades encargadas de ejecutar el proceso de implementación de una estrategia de protección financiera deben tener la competencia institucional y los conocimientos sobre las fuentes de información financiera para su apropiada interpretación, de manera que se pueda lograr un criterio uniforme e idóneo de negociación que garantice los mejores resultados y el desarrollo del proceso en una forma flexible y oportuna. Para lograr una implementación satisfactoria es necesario precisar un procedimiento de comunicación y difusión de esta política mediante un instructivo donde se plantee la estrategia, explicando cómo se estiman los costos de la cobertura que le correspondería asumir a cada entidad gubernamental de su presupuesto según los inmuebles que están a su cargo y explicar los diferentes beneficios que subyacen la estrategia con el fin de sensibilizar a los directivos acerca de la importancia y eficiencia del mecanismo que se desea adoptar.

El concepto fundamental que debe considerarse, por ejemplo, para definir el alcance del seguro corresponde a las condiciones de los seguros en relación con las retenciones o los límites, los cuales conforman los instrumentos primarios del asegurador para limitar su participación en las pérdidas a una figura financieramente factible. Al respecto, hay dos efectos decisivos. En primer lugar, se reduce la suma a pagar por los desastres, y, en segundo lugar, mediante las retenciones, se limitan los

gastos administrativos de la gestión del siniestro, al no tener que tramitar pequeños siniestros irrelevantes. De este modo, puede reducirse la prima que ha de abonar el tomador del seguro, y en algunos mercados se hace asequible a todo el mundo una cobertura de seguro limitada.

En general, para el diseño de una estrategia de protección financiera para el gobierno, bien sustentada, es necesario pensar en construir una estructura de retención y transferencia óptima, que puede llegar a tener múltiples instrumentos o mecanismos financieros y no solamente seguros y reaseguros. Para esto es necesario que los gobiernos, a través de sus Ministerios de Hacienda, Crédito Público, Economía o Finanzas utilicen, aparte de los estudios de riesgo probabilistas, métricas y herramientas avanzadas de diseño que permitan identificar las conveniencias no solamente para los tomadores de riesgo (compañías de seguros, reaseguros o el mercado de capitales) sino para el mismo cedente, que en este caso sería el gobierno respectivo. A continuación no solamente se describe el enfoque clásico con su respectiva terminología sino que se propone una serie de técnicas que facilitan el diseño de una estructura óptima de retención y transferencia del riesgo soberano que pueda incluir múltiples opciones de la industria de seguros y el mercado de capitales.

### **7.1. Parámetros para la estructura de retención y transferencia del riesgo**

El esquema de retención y transferencia del riesgo es una representación bidimensional de la pérdida que es el pilar de los modelos de aseguramiento. El eje *y* de un diagrama de pérdida mide el valor de la pérdida. El eje *x* se encuentra entre el 0% y 100%, el cual es aplicable principalmente en el caso de reaseguros. Los principales elementos de importancia fundamental en la modelización de las pérdidas son:

*Valor asegurable o exposición total:* corresponde en general al valor de reposición de la propiedad si ésta queda totalmente destruida. Para el caso de planes que no sean a primer riesgo, se debe considerar como la suma asegurada establecida en la póliza. En el caso de seguros a primer riesgo, este valor corresponde al valor de los inmuebles.

*Porcentaje de retención:* Corresponde al porcentaje del riesgo retenido en la cobertura de daños del valor asegurable. Es la capa o capas que asume el interesado de la pérdida potencial antes de transferir. Y puede estar definida en términos de: (i) porcentaje de la suma asegurada, (ii) porcentaje de la pérdida (denominado coaseguro por parte del asegurado), (iii) una cantidad fija o (iv) un deducible o franquicia.

*Límite de responsabilidad:* corresponde al valor límite que asume la aseguradora o el reasegurador para la cobertura de daños. Puesto que se trata de la pérdida máxima para la institución o sociedad mutualista de seguros, esta cantidad debe ser menos o igual a la suma asegurable. Éste descarga al asegurador de los desastres grandes, por lo que también se reduce el total de las pérdidas aseguradas. El límite de responsabilidad se puede expresar en términos de porcentaje de la suma asegurada o puede ser una cantidad fija.

*Coaseguro:* Corresponde a la participación porcentual del asegurado en el riesgo o, expresado en otros términos, se refiere al porcentaje de retención del riesgo por parte del asegurado.

*Deducible:* Es el monto hasta el cual el cedente o asegurado (o en el caso del reaseguro el asegurador primario) retiene el riesgo, es decir que hasta este punto el asegurado responde por la totalidad de sus pérdidas. A partir de un monto igual a la prioridad o el deducible, el asegurador (o reasegurador) responde por los siniestros ocurridos hasta un monto máximo conocido como el límite de responsabilidad. El asegurador (o reasegurador) está entonces comprometido a cubrir las pérdidas que exceden el deducible hasta la cantidad establecida por un límite (que puede no ser el 100%). El deducible descarga al asegurador de las pérdidas pequeñas, por lo que es un medio eficaz para reducir tanto los gastos administrativos como los pagos totales por eventos de menores proporciones.

*Eventos cubiertos:* Es importante aclarar qué tipo de daños se están cubriendo. Por ejemplo, se cubren solamente los daños por terremoto, o también incendio como consecuencia de terremoto, deslizamientos, inundaciones, etc. Las tasas de daño promedio deberán de esta manera adaptarse según sea el cubrimiento deseado.

*Límite por evento:* La limitación en importe de la totalidad de las pérdidas aseguradas, con una reducción proporcional de todas las indemnizaciones en eventos que superen este límite es naturalmente un medio eficaz para evitar las imprevisiones de un cálculo de la PML. Al respecto, es necesario decir que hay disparidad de opiniones en cuanto a lo oportuno o inoportuno de los límites por evento; prácticamente sólo se aplican en casos de monopolio de seguro o de indemnizaciones voluntarias. Estas condiciones del seguro pueden referirse a coberturas individuales (como un edificio) o varias coberturas en el mismo lugar por ejemplo, edificios, contenidos y pérdida de beneficios conjuntamente). También puede referirse a la totalidad de las coberturas de seguro en distintas ubicaciones. Por otra parte, existen condiciones con una componente temporal (por ejemplo límites de siniestralidad anual) o con límites de eventos específicos de lugares o peligros. Dado que las condiciones de seguro pueden adquirir formas tan diferentes e influir bastante sobre las pérdidas aseguradas, su registro correcto adquiere una gran importancia en el marco del control de cúmulos. Además de la participación en las pérdidas por parte del tomador del seguro, una compañía de seguros dispone de otras posibilidades de limitar el potencial de daños de los riesgos individuales, por ejemplo, mediante una participación proporcional de otros aseguradores o a través del reaseguro facultativo. Incluso pequeñas retenciones ejercen una notable diferencia sobre el valor restante de daños que asume el asegurador. Y no menos importante es el hecho de que la proporción de los siniestros a tramitar disminuye sustancialmente. Precisamente en caso de grandes desastres, los aseguradores se enfrentan a una oleada de daños mínimos, cuyo elevado costo de tramitación administrativo no guarda una relación razonable con su escasa cuantía. Así pues, las retenciones reducen los costos y con ello las primas de una compañía de seguros, así como el tiempo de tramitación en caso de siniestro, por lo que representa una ventaja tanto para el asegurado como para el asegurador.

La pérdida entre el monto deducible y el monto límite es conocida como una capa (*layer*). Según el tamaño del desastre y las capacidades financieras de los involucrados, el mercado de seguros y de reaseguros puede organizarse en varias

capas. La Figura 7.1 ilustra una estructura de retención y transferencia con capas de exceso de pérdidas.

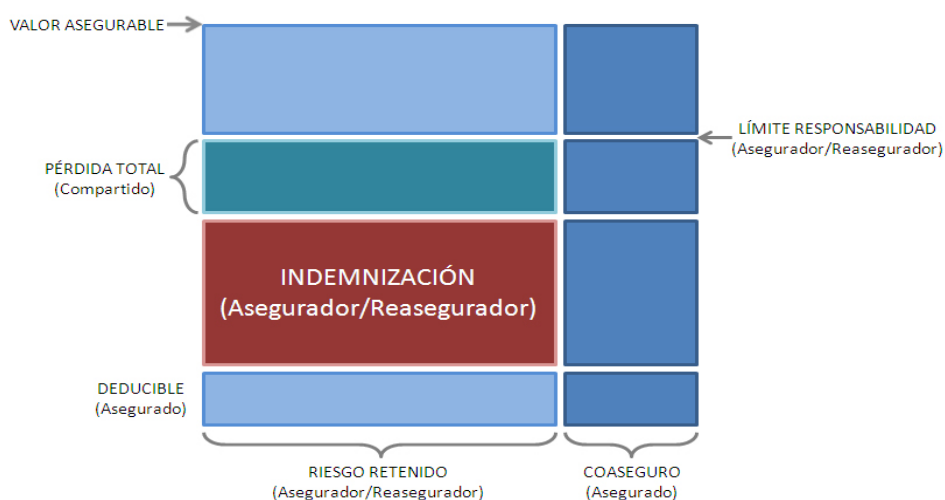


Figura 7.1. Estructura de retención y transferencia

Utilizando los parámetros anteriores la industria aseguradora realiza las propuestas convencionales de protección financiera. Dichos parámetros son la base para definir una estrategia de transferencia del riesgo llegando a una serie de acuerdos entre las partes. No obstante se presentan a continuación una serie de reflexiones útiles que deben tener en cuenta en el proceso y se proponen técnicas que facilitan el desarrollo de los análisis para una apropiada forma de definir las coberturas y la protección financiera del gobierno.

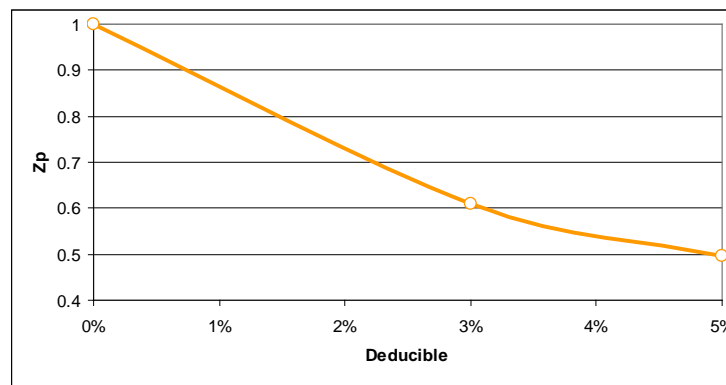
### 7.1.1. Efectos del deducible

El deducible corresponde a la fracción de la pérdida total, o valor económico absoluto, que debe asumir el asegurado según las condiciones de negociación con las compañías de seguros. El efecto del deducible es muy importante para la negociación del seguro y reaseguro pues en caso de ser un valor alto reduciría de manera significativa el valor de la prima pura de riesgo en una fracción importante con respecto a la pérdida total real que se presente. Ahora bien, el deducible lo debe cubrir directamente el asegurado con recursos propios o debe tener previsto un mecanismo de financiación para cubrir dicho valor. En otras palabras el deducible establece un primer nivel de retención de riesgo que es necesario considerar para evaluar las implicaciones del mismo.

Para el análisis de alternativas y esquemas de aseguramiento es posible considerar el riesgo como una suma total equivalente al valor asegurable total o suma en riesgo y establecer capas de riesgo iniciando de abajo hacia arriba, es decir con las

pérdidas más frecuentes y más pequeñas que podrían estar incluidas en el deducible y terminando por las capas de pérdidas muy altas asociadas a eventos extraordinarios de muy baja probabilidad de ocurrencia.

Para analizar el efecto del deducible en el valor de la prima pura de riesgo, resulta útil definir el factor  $Z_P$  como el valor de la prima pura correspondiente a una capa seleccionada, en este caso la capa comprendida entre el deducible y el límite de pérdida máxima, con respecto al valor de la prima pura total hasta el límite máximo. La Figura 7.2 presenta la variación del factor  $Z_P$  y el valor de deducible adoptado.



**Figura 7.2.** Ejemplo de la variación del factor  $Z_P$  con el deducible

Como puede verse en la figura anterior, el valor de la prima disminuye considerablemente en la medida en que el deducible se incrementa. Esto significa, como está claro en el mercado de seguros, que las capas inferiores, que corresponden a las de mayor probabilidad de ocurrencia, son las que representan los mayores valores de prima. También existe la posibilidad de realizar un análisis de optimización económica entre el pago de primas en comparación con el costo de los recursos para conformar un fondo de reservas que permitan aumentar el cubrimiento del deducible o parte retenida. La selección del deducible depende en general de la capacidad de los gobiernos de retener y por lo tanto cubrir estas pérdidas mediante una reasignación presupuestal, fondos de reservas o un posible crédito contingente. Considerando un portafolio de edificaciones, la Figura 7.3 ilustra la influencia de diferentes niveles de deducible y su incidencia directa en la prima pura de riesgo y las reservas o la necesidad de acceso a recursos económicos que se requerirían para cubrir la parte retenida por el gobierno.



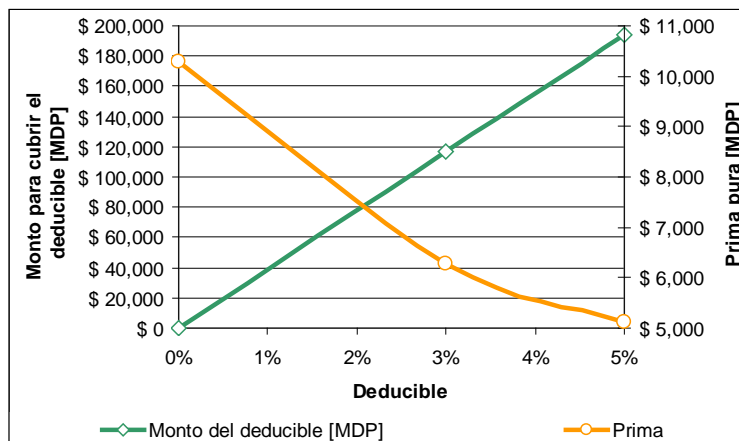


Figura 7.3. Ejemplo del efecto del deducible en la PPR y en las reservas requeridas

En la figura se presenta de forma esquemática como se reduce el valor de la prima (eje izquierdo) con el aumento del deducible en porcentaje y en el monto (eje derecho). No existe un punto óptimo ya que este depende del mínimo que el tomador está dispuesto a aceptar y por otro lado de la capacidad del cedente de contar con los recursos económicos necesarios para cubrir esta primera capa de pérdida en caso de siniestro.

Claramente si el cedente no retiene riesgo la prima sería significativamente alta frente a la que se obtendría de un valor de deducible como el que usualmente se acepta (del 3%). Con un deducible nulo el valor de la prima pura (sin aumento por los costos administrativos de atender siniestros menores y recurrentes) supera el doble de la obtenida con un deducible del 5%. Ahora bien, como ya se señaló, las compañías de seguros y reaseguros por razones de riesgo moral y costos administrativos difícilmente aceptan un deducible menor al 3% y de hacerlo cobrarían una prima muy alta. Por otra parte, asumir un deducible mayor implica una alta retención y si se cubre con fondos de reservas como sería lo usual, podría considerarse que tendría un alto costo de oportunidad.

El deducible también tiene un efecto significativo en el valor de la PML o pérdida que tendría que asumir el tomador. La Figura 7.4 presenta la variación del valor de la PML para la compañía de seguros (para varios períodos de retorno) con variaciones en el valor del deducible.

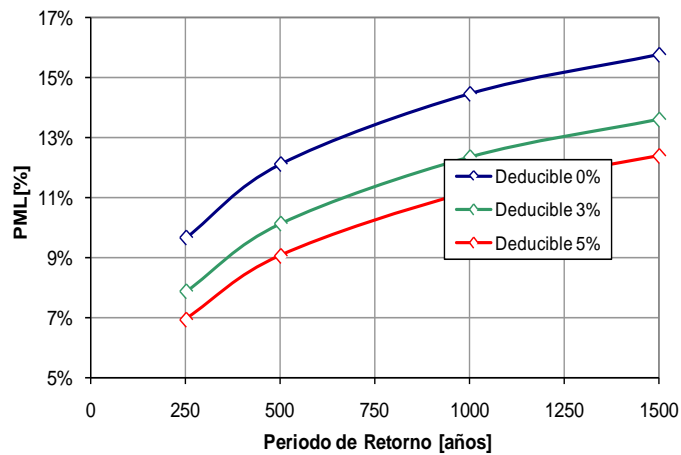


Figura 7.4. Ejemplo de variación de la PML con el deducible

### 7.1.2. Efectos del límite máximo de cobertura

Otro parámetro importante para establecer una estrategia óptima de retención y transferencia del riesgo es el límite máximo de cobertura. Este parámetro se selecciona, igualmente, de común acuerdo con la compañía de seguros. Normalmente se busca establecer un límite máximo superior a la cobertura, para lo cual el valor de la PML seleccionado corresponde al parámetro técnico de referencia. Aunque es común considerar como límite máximo el 100%, claramente establecer un límite máximo de cobertura igual al valor asegurable total del portafolio no tiene sentido dado que resulta muy poco probable que un evento destruya la totalidad del portafolio. En portafolios pequeños puede ser que la prima para cubrir una capa importante (por ejemplo la PML) sea prácticamente igual a la que se requiere para cubrir el 100% del portafolio; sin embargo en portafolios grandes es factible pagar primas por una capa, es decir hasta un límite, debido a que la prima cambia sensiblemente si se aumenta la cobertura.

Para evaluar la variación de la prima con el límite máximo se presenta la Figura 7.5 en la cual se indica cómo varían los valores de prima pura de riesgo (PPR) con el límite máximo asegurado (abscisas). La prima se presenta como porcentaje de la prima pura total a pagar en el caso de un límite del 100% del valor asegurable (ordenadas a la izquierda) ó como el valor de prima al millar del valor asegurable total (ordenadas a la derecha). En esta misma figura se ha marcado el valor de la PML correspondiente a diferentes valores de límites máximos hipotéticos.

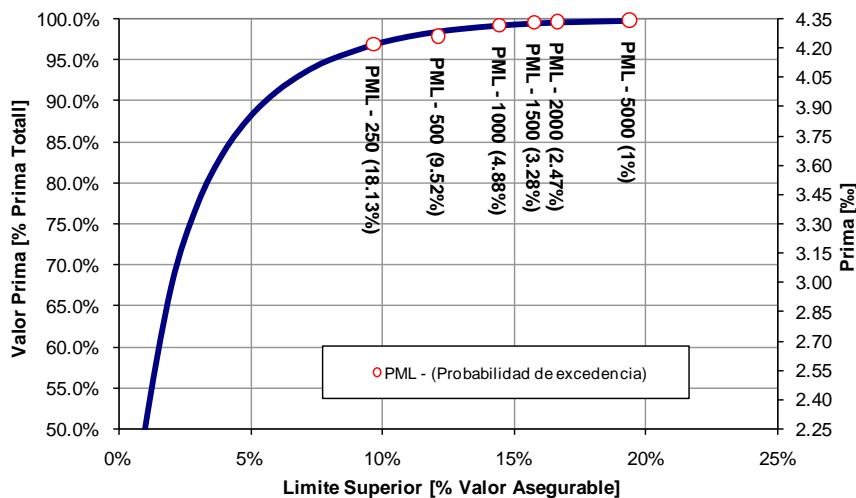


Figura 7.5. Ejemplo de variación de la PPR con el límite máximo de la póliza

De este análisis se detecta que no hay un beneficio importante de limitar la pérdida dado que la diferencia entre el valor de la prima para la capa y la necesaria para tener un cubrimiento total no es muy significativa. Esto se debe a que el portafolio no es muy grande. Por ejemplo, para obtener una reducción en la prima del orden del 20% de la prima pura total sería necesario definir un límite máximo inferior al 2% del valor asegurable total, lo cual no sería conveniente desde ningún punto de vista. Por esta razón se recomienda un límite máximo equivalente a un valor relativamente conservativo de la PML; i.e. una PML para un periodo de retorno alto en el orden de los 1000 ó 1500 años, considerando incluso un valor adicional en relación con la incertidumbre en la información disponible.

### 7.1.3. Efecto de limitar la pérdida y usar otros deducibles

El *Rate-On-Line*, ROL, se define como la prima dividida por el límite de cobertura. Es una métrica de especial utilidad para construir una estructura de retención y transferencia de riesgo basada en varias capas. El precio de la cobertura se refleja en términos del ROL, es decir la prima pagada en porcentaje de la suma asegurada. El ROL disminuye con el importe de la capa, dado que los eventos mayores ocurren con menor frecuencia (Alcántara 2002). El ROL presenta la tendencia de los precios de aseguramiento o reaseguramiento, pero no revela la variación de los precios en cuanto a pérdidas esperadas vs. variación en los cobros (Cummins 2008).

En un contrato de exceso de pérdida, *excess-loss*, XL, la pérdida  $y_r$ , se calcula con la siguiente regla:

$$y_r = \begin{cases} 0 & \text{si } y < y_D \\ y - y_D & \text{si } y_D \leq y < y_L \\ y_L - y_D & \text{si } y \geq y_L \end{cases} \quad (7.1)$$

donde  $y_D$  y  $y_L$  son valores de pérdida que hacen las veces de deducible y límite de responsabilidad, respectivamente, y que en el contexto del reaseguro se conocen como *attachment point* y *exhaustion point*. El valor de  $y_D$  también se conoce como *prioridad* de la compañía de seguros. La cantidad  $y_L - y_D$  es la máxima pérdida posible para el reasegurador en un contrato no proporcional.

La ecuación 7.2 muestra que la pérdida anual esperada puede calcularse por integración de la curva de tasa de excedencia de pérdidas (Ordaz y Santa-Cruz 2003; ver Anexo G).

$$\bar{y} = - \int_0^{\infty} y \frac{dv(y)}{dy} dy = - \int_0^{\infty} y dv(y) \quad (7.2)$$

En vista de la regla de repartición dada en la ecuación 7.1 y de la ecuación 7.2,

$$\bar{y}_r = - \int_0^{\infty} y_r dv(y) \quad (7.3)$$

$$\bar{y}_r = - \left[ \int_0^{v_D} 0 dv(y) + \int_{v_D}^{v_L} (y - y_D) dv(y) + (y_L - y_D) \int_{v_L}^{v_{max}} dv(y) \right] \quad (7.4)$$

donde  $v_D$  y  $v_L$  son las tasas de excedencia de los valores  $y_D$  y  $y_L$ , respectivamente, y  $v_{max}$  es la tasa de excedencia de la pérdida máxima<sup>1</sup>. Simplificando términos se obtiene la expresión usada aquí y las técnicas utilizados para determinar la prima de las coberturas de exceso de pérdida que se presentan más adelante:

$$\bar{y}_r = - \left[ \int_{v_D}^{v_L} y dv(y) - y_D(v_L - v_D) + (y_L - y_D)(v_{max} - v_L) \right] \quad (7.5)$$

Nuevamente, se observa que la prima asociada a un contrato no proporcional puede obtenerse por integración de la curva de tasa de excedencia de pérdidas<sup>2</sup>. En el caso particular en que  $v_{max}=0$ , la ecuación 7.5 toma la siguiente forma:

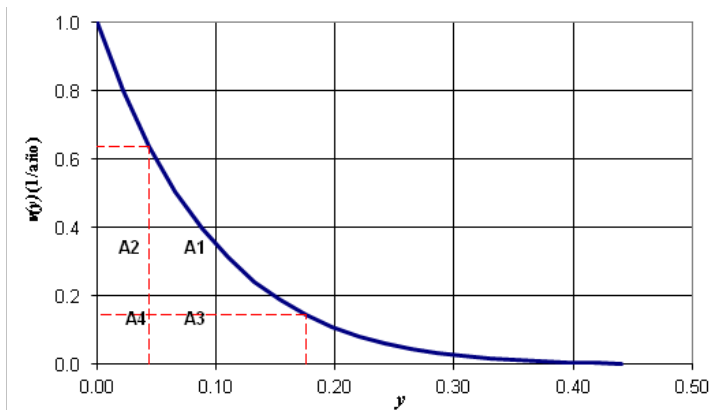
<sup>1</sup> Frecuentemente, la tasa de excedencia de la pérdida máxima es cero, por lo que las ecuaciones anteriores admiten simplificación. Sin embargo, en ciertas circunstancias (por ejemplo, cuando las pólizas que forman la cartera incluyen límites de responsabilidad individuales),  $v_{max}$  no es nula, por lo que debe aplicarse la expresión general aquí presentada.

<sup>2</sup> En realidad, como puede observarse, a partir de momentos de dicha curva

$$\bar{y}_r = - \int_{v_L}^{v_D} y dv(y) - y_D(v_D - v_L) + (y_L - y_D)v_L \quad (7.6)$$

$$\bar{y}_r = - \int_{v_L}^{v_D} y dv(y) - y_D v_D + y_L v_L \quad (7.7)$$

En la Figura 7.6 puede observarse que el primer término de la ecuación 7.7 es precisamente la suma de las áreas denotadas como A1 y A2. El segundo término de la ecuación 7.7, por su parte, corresponde a la suma de A2 y A4.



**Figura 7.6.** Ejemplo del cálculo de prima para una capa en un contrato de exceso de pérdida

Finalmente, el tercer término es igual a  $A4+A3$ . En vista de esto, la prima de la ecuación 7.7 puede escribirse como:

$$\bar{y}_r = A1 + A2 - (A2 + A4) + (A3 + A4) = A1 + A3 \quad (7.8)$$

En la propia Figura 7.6 puede observarse que  $A1+A3$  es también

$$\bar{y}_r = A1 + A3 = \int_{v_D}^{y_L} v(y) dy \quad (7.9)$$

expresión que también puede usarse para el cálculo de la prima de una capa cuando  $v_{max}=0$ .

Como se ha señalado,  $\bar{y}_r$  es la prima que se debería cobrar por proteger una capa localizada entre  $y_D$  y  $y_L$ . A partir de esta prima se aplica el concepto del ROL, que es el cociente de la prima de la capa,  $\bar{y}_r$ , y el valor total de la propia capa, es decir,  $y_L - y_D$ .

$$ROL = \frac{\bar{y}_r}{y_L - y_D} \quad (7.10)$$

Puede observarse que cuando  $y_D=0$  y  $y_L$  es igual al valor total de la cartera, ROL no es más que la prima total expresada como una fracción del valor total de la cartera. Las capas más bajas son más caras que las capas más altas.

Ahora bien, como se mencionó, en teoría existe la posibilidad de contratar una capa desde el valor del deducible hasta un límite de pérdidas específico y no contratar la transferencia del riesgo para cubrir hasta el 100% del valor asegurable de todo el portafolio. Dependiendo de las características del portafolio en algunos casos esto se puede traducir en una reducción notable de la prima o del ROL para cubrir la capa definida. Para visualizar este efecto se presenta un portafolio de inmuebles definiendo los siguientes parámetros variables:

- (a) Límite máximo expresado con referencia a los valores de la PML para diferentes periodos de retorno:
  - 5% del valor asegurable
  - 15% del valor asegurable
  - 30% del valor asegurable
  
- (b) Deducibles:
  - 0% del valor asegurable
  - 3% del valor asegurable
  - 5% del valor asegurable

Para ilustrar, con estos parámetros se obtuvieron los siguientes valores de primas puras que se presentan en la Figura 7.7.

De nuevo, de los análisis anteriores se concluye que para este portafolio de análisis la prima pura no presenta una variación significativa con el límite máximo de cobertura, por lo cual establecer límites para la PML con muy altos períodos de retorno sería lo deseable, ya que el ahorro en el costo de prima es mínimo mientras que el aumento en la probabilidad de que la PML sea excedida aumenta considerablemente.

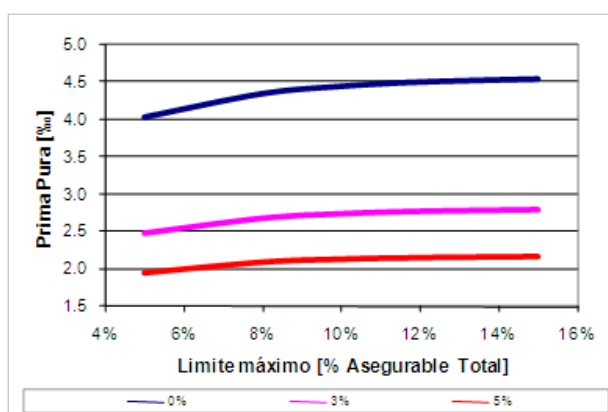


Figura 7.7. Ejemplo de variación de la PPR para diferentes límites de cobertura y deducibles

#### 7.1.4. Análisis por capas

El efecto de transferir el riesgo por capas también podría generar cambios en el valor de la prima o primas por cada capa. Usualmente los análisis por capas se deben realizar cuando la compañía de seguros, por ejemplo, no está en capacidad de cubrir la totalidad de la pérdida esperada definida para un período de retorno dado. En ese caso la compañía debe pagar a partir de la prioridad (o capa inferior de retención, si se ha definido) hasta un límite establecido. Esto significa que la prima que se le debe pagar a la compañía de seguros se reduce, pero queda descubierta la parte de la pérdida por encima de dicho límite, que a su vez puede ser otra capa que debe negociarse o con otra compañía de seguros, reaseguros u otro tipo de instrumento de transferencia o financiación. También puede utilizarse la figura de capas cuando el asegurado no está interesado en una protección completa ya que cuenta con otros instrumentos financieros más eficientes, por ejemplo, para las primeras capas de riesgo o para las últimas, es decir sea las pérdidas pequeñas y recurrentes o extraordinarias asociadas a eventos muy poco recurrentes, respectivamente.

Como ya se mencionó una capa superior podría ser cubierta por un bono CAT u otro instrumento financiero del mercado de capitales o un crédito contingente con alguno de los organismos multilaterales de crédito (el Banco Mundial, el BID, la CAF, entre otros, en la Américas). Dichos organismos ofrecen instrumentos financieros de este tipo que algunos países ya han empezado a utilizar.

De acuerdo con lo anterior, a modo de ejemplo la Tabla 7.1 presenta los datos individuales para el análisis por capas del portafolio de inmuebles de la ciudad de Bogotá.

**Tabla 7.1. Ejemplo de variación de la prima por capas para un portafolio de edificaciones**

Capa	Porcentaje del valor asegurado	Limite de la capa (\$ Milliones)	Capa superior (\$ Milliones)	Prima de la capa (\$ Milliones)	Prima total de la capa		Prima capa superior		D Prima (Ci-Ci-1)	ROL
					(%)	Como % de la prima	(%)	Como % de la prima total		
1	0.10%	\$ 3,056,642,495	\$ 3,053,585,852,962,66	\$ 739,096,155,40	0.24	13.23%	1,586	86.77%	0.242	13.23%
2	0.30%	\$ 9,169,927,486	\$ 3,047,472,567,971,75	\$ 1,471,773,361,56	0.48	26.35%	1,346	73.65%	0.240	13.12%
3	0.60%	\$ 18,339,854,973	\$ 3,038,302,640,485,37	\$ 2,117,030,592,35	0.69	37.90%	1,135	62.10%	0.211	11.55%
4	1.00%	\$ 30,566,424,955	\$ 3,026,076,070,503,54	\$ 2,672,422,533,78	0.87	47.84%	0,953	52.16%	0.182	9.94%
5	2.00%	\$ 61,132,849,909	\$ 2,995,509,645,548,96	\$ 3,493,131,043,81	1.14	62.53%	0,685	37.47%	0.269	14.69%
6	3.00%	\$ 91,699,274,864	\$ 2,964,943,220,594,38	\$ 3,972,718,251,35	1.30	71.12%	0,528	28.88%	0.157	8.59%
7	4.00%	\$ 122,265,699,818	\$ 2,934,376,795,639,80	\$ 4,297,333,684,36	1.41	76.93%	0,422	23.07%	0.106	5.81%
8	5.00%	\$ 152,832,124,773	\$ 2,903,810,370,685,21	\$ 4,534,834,806,26	1.48	81.18%	0,344	18.82%	0.078	4.25%
9	6.00%	\$ 183,398,549,727	\$ 2,873,243,945,730,63	\$ 4,716,705,034,74	1.54	84.44%	0,284	15.56%	0.059	3.26%
10	7.00%	\$ 213,964,974,682	\$ 2,842,677,520,776,05	\$ 4,859,755,903,53	1.59	87.00%	0,238	13.00%	0.047	2.56%
11	8.00%	\$ 244,531,399,637	\$ 2,812,111,095,821,47	\$ 4,974,074,332,86	1.63	89.05%	0,200	10.95%	0.037	2.05%
12	9.00%	\$ 275,097,824,591	\$ 2,781,544,670,866,89	\$ 5,066,384,936,22	1.66	90.70%	0,170	9.30%	0.030	1.65%
13	10.00%	\$ 305,664,249,546	\$ 2,750,978,245,912,31	\$ 5,141,272,677,36	1.68	92.04%	0,146	7.96%	0.024	1.34%
14	11.00%	\$ 336,230,674,500	\$ 2,720,411,820,957,73	\$ 5,203,016,855,77	1.70	93.14%	0,125	6.86%	0.020	1.11%
15	12.00%	\$ 366,797,099,455	\$ 2,689,845,396,003,15	\$ 5,254,368,449,69	1.72	94.06%	0,109	5.94%	0.017	0.92%
16	13.00%	\$ 397,363,524,410	\$ 2,659,278,971,048,56	\$ 5,296,855,780,38	1.73	94.82%	0,095	5.18%	0.014	0.76%
17	14.00%	\$ 427,929,949,364	\$ 2,628,712,546,093,98	\$ 5,332,924,161,83	1.74	95.47%	0,083	4.53%	0.012	0.65%
18	15.00%	\$ 458,496,374,319	\$ 2,598,146,121,139,40	\$ 5,363,490,586,78	1.75	96.02%	0,073	3.98%	0.010	0.55%
19	16.00%	\$ 489,062,799,273	\$ 2,567,579,696,184,82	\$ 5,389,777,712,24	1.76	96.49%	0,064	3.51%	0.009	0.47%
20	17.00%	\$ 519,629,224,228	\$ 2,537,013,271,230,24	\$ 5,412,396,866,71	1.77	96.89%	0,057	3.11%	0.007	0.40%
21	20.00%	\$ 611,328,499,092	\$ 2,445,313,996,366,50	\$ 5,463,442,796,38	1.79	97.81%	0,040	2.19%	0.017	0.91%
22	25.00%	\$ 764,160,623,865	\$ 2,292,481,871,593,59	\$ 5,514,183,061,81	1.80	98.71%	0,023	1.29%	0.017	0.91%
23	30.00%	\$ 916,992,748,637	\$ 2,139,649,746,820,68	\$ 5,541,387,180,02	1.81	99.20%	0,015	0.80%	0.009	0.49%
24	35.00%	\$ 1,069,824,873,410	\$ 1,986,817,622,047,78	\$ 5,558,198,713,74	1.82	99.50%	0,009	0.50%	0.006	0.30%
25	40.00%	\$ 1,222,656,998,183	\$ 1,833,985,497,274,87	\$ 5,569,202,626,72	1.82	99.70%	0,005	0.30%	0.004	0.20%
26	45.00%	\$ 1,375,489,122,956	\$ 1,681,153,372,501,97	\$ 5,576,232,904,46	1.82	99.82%	0,003	0.18%	0.002	0.13%
27	50.00%	\$ 1,528,321,247,729	\$ 1,528,321,247,729,06	\$ 5,580,512,203,96	1.83	99.90%	0,002	0.10%	0.001	0.08%
28	60.00%	\$ 1,833,985,497,275	\$ 1,222,656,998,183,25	\$ 5,584,180,174,95	1.83	99.97%	0,001	0.03%	0.001	0.07%
29	70.00%	\$ 2,139,649,746,821	\$ 916,992,748,637,44	\$ 5,585,097,167,70	1.83	99.98%	0,000	0.02%	0.000	0.02%
30	80.00%	\$ 2,445,313,996,367	\$ 611,328,499,091,62	\$ 5,585,402,831,95	1.83	99.99%	0,000	0.01%	0.000	0.01%
31	90.00%	\$ 2,750,978,245,912	\$ 305,664,249,545,81	\$ 5,585,708,496,20	1.83	99.99%	0,000	0.01%	0.000	0.01%
32	100.00%	\$ 3,056,642,495,458	\$ -	\$ 5,586,014,160,45	1.83	100.00%	0,000	0.00%	0.000	0.01%

Para el análisis de los costos de las diferentes capas se definen dos parámetros básicos de acuerdo con la nomenclatura utilizada previamente:

$y_D$  : Límite inferior de la capa

$y_L$  : Límite superior de la capa

$\bar{y}$  : prima total desde pérdida 0 hasta el valor asegurable total.

$\bar{y}_r$  : prima a cobrar por proteger una capa localizada entre  $y_D$  y  $y_L$ .

Usando nuevamente la ecuación 7.9 con  $y_L$  variable, se define la cantidad  $Z_R$ , como el cociente entre la prima de una capa determinada,  $y_r$ , generalmente desde pérdida 0 hasta un valor dado de  $y_L$  (prima a cargo del asegurador o reasegurador) y la prima total. Corresponde a la prima de una capa dada con respecto a la prima total, en porcentaje.

$$Z_R = \frac{\bar{y}_r}{\bar{y}} \quad (7.11)$$

El costo de la transferencia (aseguramiento y del reaseguramiento) por capas está determinado por el ROL (ecuación 7.10). Es decir, el cociente de la prima de la capa,  $\bar{y}_r$ , y el valor total de la propia capa o sea  $y_L - y_D$ .

Como ya se señaló cuando  $y_D = 0$ , y  $y_L$  es igual al valor total del portafolio, el ROL no es más que la prima total expresada como una fracción del valor total de la cartera.



La Figura 7.8 y la Figura 7.9 presentan las variaciones del factor  $Z_R$  y del  $ROL$  definidos en las ecuaciones 7.1 y 7.2 con el límite superior de la pérdida, valor que puede llegar a ser igual al valor total expuesto en porcentaje.

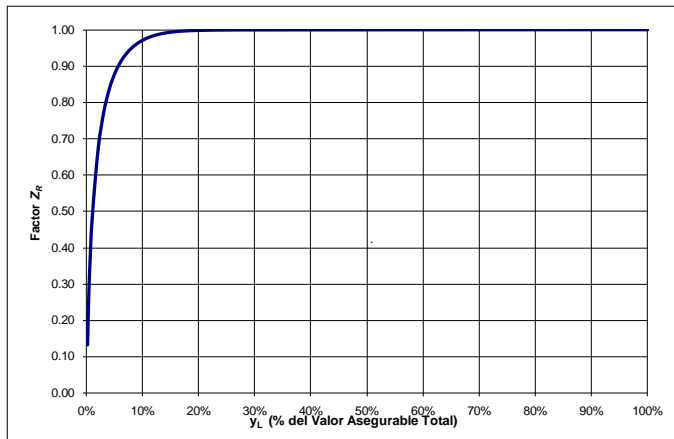


Figura 7.8. Ejemplo de la variación de la prima por capas-  $Z_R$

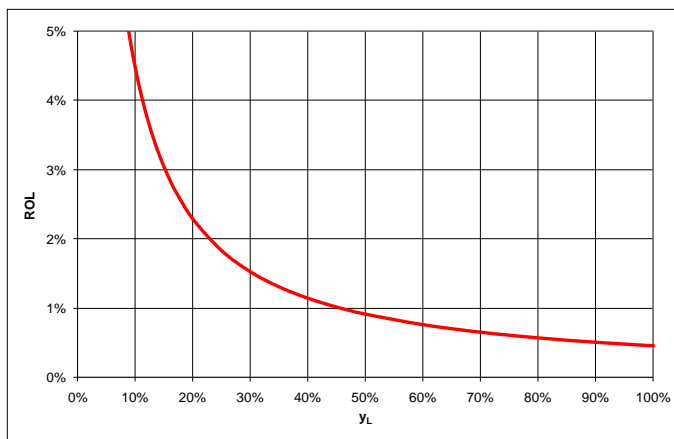


Figura 7.9. Ejemplo de variación de la prima por capas o gráfica de  $ROL$

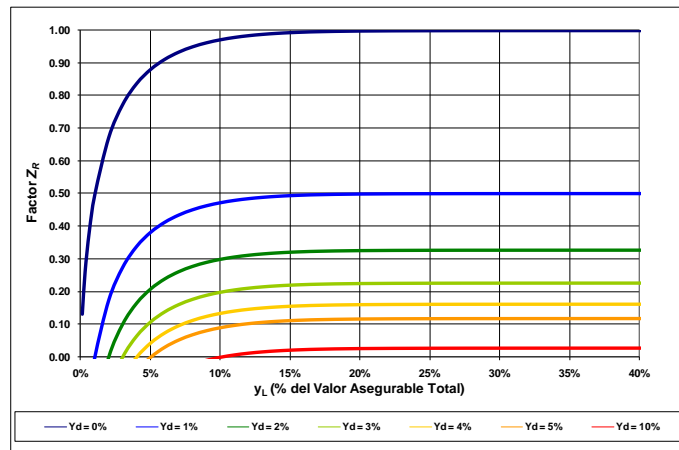


Figura 7.10. Ejemplo de cálculo de prima de riesgo por capas

Las figuras anteriores pueden utilizarse para estimar la prima de riesgo correspondiente a cualquier capa deseada del portafolio analizado. En particular, utilizando las gráficas del  $Z_R$  se pueden obtener las primas de riesgo de diferentes capas intermedias. Haciendo el análisis por capas con diferentes límites inferiores, se presenta la Figura 7.10 en la cual se grafica el valor de  $Z_R$  (en el eje de las ordenadas) para diferentes valores del límite superior de pérdidas,  $y_L$ , (en el eje de las abscisas). Las diferentes curvas que se incluyen corresponden a diferentes valores supuestos del límite inferior de las pérdidas (o deducible en % o “attachment point” para el caso de reaseguros).

La manera de utilizar esta figura sería entonces definir el límite inferior de la capa (en términos de pérdida en porcentaje con respecto al valor asegurable,  $y_D$ ) y el límite superior de responsabilidad (también en porcentaje del valor asegurable,  $y_L$ ) y entrar a la Figura 7.10 para leer el valor de  $Z_R$ . El valor de la prima correspondiente a la capa con pérdidas entre  $y_D$  y  $y_L$  resulta de multiplicar el valor de  $Z_R$  leído de las figuras anteriores por el valor de la prima total. Esta gráfica permite estimar cualquier capa y determinar la estructura de retención y transferencia más eficiente o deseable.

## 7.2. Efecto de la selección adversa

Los actuarios de las compañías de seguros y reaseguros manifiestan aversión a la ambigüedad al definir un valor mayor de las primas cuando se percibe que el riesgo no está bien especificado, situación que se presenta cuando no se tienen modelos de riesgo idóneos y buena información. Cuando no se puede distinguir entre la probabilidad de pérdida para categorías de riesgos buenos y malos se presenta selección adversa. El asegurador le asigna la misma prima a todo el portafolio de bienes y esto puede inducir a que si el propietario del portafolio tiene buenos estudios de riesgo, sólo desee contratar seguros para los riesgos malos y no para los riesgos buenos por considerar el costo de la cobertura muy alta. Para analizar la selección adversa de un portafolio, se seleccionan porcentajes variables (10%, 20%, 30%) de los mejores riesgos, es decir,

aquellos que generan las menores primas puras de riesgo, los cuales se han eliminado del portafolio repitiendo el análisis de riesgo para estudiar lo que esto significa. La Figura 7.11 y la Figura 7.12 ilustran los resultados de PPR y para un  $PML_{1000}$  a modo de ejemplo.

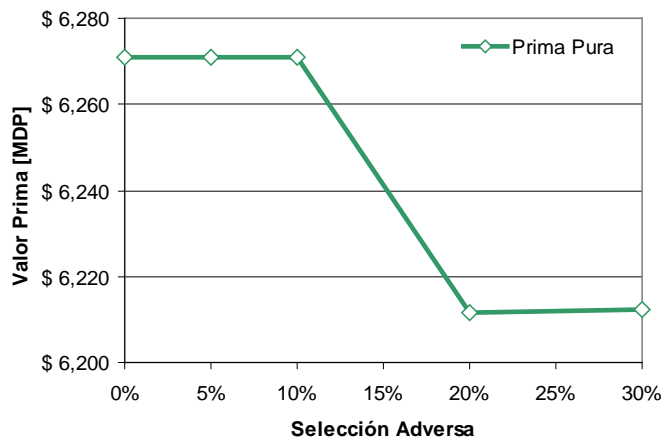


Figura 7.11. Efecto de selección adversa del riesgo en los valores de prima pura

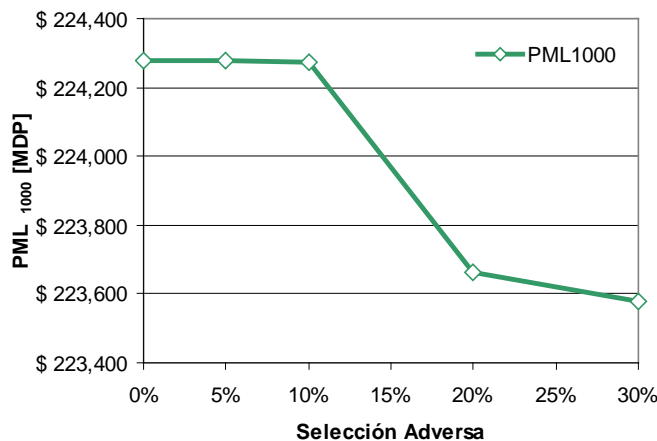


Figura 7.12. Efecto de selección adversa del riesgo en los valores de PML

Del análisis anterior se evidencia que la reducción de la prima pura y del  $PML_{1000}$  años del portafolio, al retener el 20% de los mejores riesgos (que no necesariamente son los de mayor valor), sería aproximadamente de 59 millones ( $\$6,272 - \$6,213$ ) y de 616 millones ( $\$224,280 - \$223,664$ ) respectivamente. Esto equivale a una reducción inferior al 1% que no es un valor significativo en este caso, razón por lo cual no es conveniente promover este aspecto en la estrategia de aseguramiento.

El enfoque y las gráficas que aquí se han descrito no son comúnmente utilizadas y por esta razón aquí se proponen, puesto que son de especial utilidad para el análisis y la optimización de la protección financiera al construir una estructura de retención y transferencia del riesgo soberano de los gobiernos.

### **7.3. Combinación de alternativas y costos de la implementación**

Los mecanismos disponibles en los mercados de seguros y de capitales no son sustitutos entre sí, sino que son complementarios y se deben usar simultáneamente en una estructura combinada que cubra diferentes capas de riesgo. Dentro de esta estructura participan distintos tipos de agentes, entre ellos, empresas aseguradoras, reaseguradoras, inversionistas privados, banca de inversión, intermediarios financieros y entidades multilaterales, lo cual implica que aunque existe esta estructura institucional, el marco regulatorio del uso de este tipo de instrumentos está por fuera de la esfera nacional. Por esta razón, además de un estudio detallado que especifique el diseño y la estrategia de colocación de la estructura de financiación, es necesario trabajar en el logro de acuerdos multilaterales que permitan el acceso de instituciones locales a los mercados internacionales y al establecimiento de acuerdos que permitan consolidar un marco regulatorio común a las distintas entidades nacionales e internacionales participantes en el sistema.

Las distintas capas de la estructura de retención y transferencia se establecen dependiendo de la capacidad de solvencia de cada uno de los agentes participantes y de la conveniencia en términos de costos para el gobierno de cada una de las distintas fuentes de financiamiento disponibles. Es común observar que para distintos montos de la pérdida los costos de cada fuente de financiación pueden variar. Un ejemplo de esta situación es el excesivo incremento de las primas de los seguros para las capas de cubrimiento más altas debido al mayor grado de incertidumbre representado por desastres de gran magnitud. Por ello es indispensable establecer los costos de cada una de las fuentes de financiación para distintos montos de pérdida.

Una vez definida la responsabilidad fiscal del Estado, se pueden llevar a cabo ejercicios de simulación que permitan determinar la estructura óptima de financiación en términos de efectividad en costo. En resumen el proceso que se debe llevar a cabo en el momento de escoger la estructura financiera adecuada tiene los siguientes pasos:

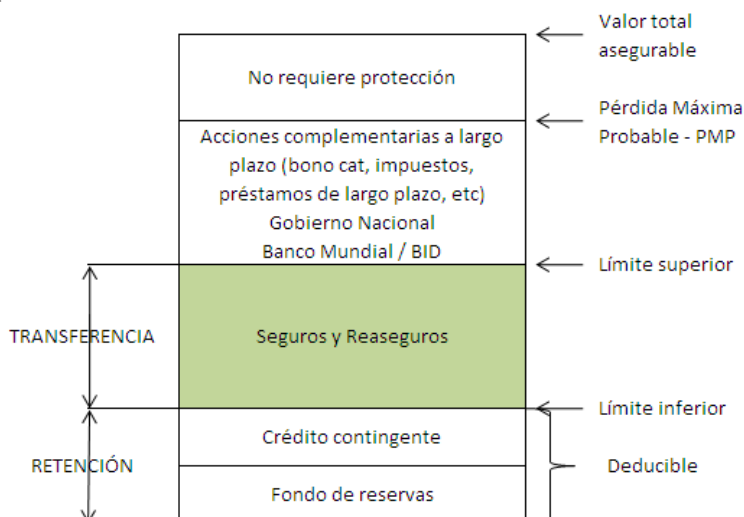
1. Cálculo de las probabilidades de ocurrencia de pérdidas mediante modelos de riesgo catastrófico para establecer el capital necesario para financiar las pérdidas en las que se incurre.
2. Comparación entre el costo de utilización del capital del Estado y el costo de utilización de herramientas de transferencia y financiación del riesgo
3. Determinación de la combinación de instrumentos financieros y de transferencia del riesgo. Uso de algoritmos de optimización para determinar la combinación de capital, crédito, reaseguros y titularización que minimice su costo total de cubrir el riesgo de desastres.

En este contexto, los datos que se utilizarán para calcular la parte de instrumentos financieros son básicamente la información derivada del análisis técnico de los distintos desastres (vulnerabilidad, población afectada, estimaciones de niveles de pérdidas, etc.) e información de posibles disparadores (índices), y los datos del

mercado de seguros/ reaseguros y de bonos de catástrofe (tasas de rentabilidad, indicadores de transabilidad, emisores, tasa libre de riesgo, Vehículos de Propósito Especial).

Una vez se cuenta con esta información y el nivel de riesgo que el gobierno decide retener de sus propios activos (infraestructura y propiedades de la población de bajos ingresos), es posible diseñar distintas alternativas de estructuras de financiación y posteriormente seleccionar aquella que presente el menor costo pero que cubra el mismo nivel de riesgo.

El reto para los gobiernos de los países en desarrollo y las compañías de seguros y reaseguros es concertar el mejor mecanismo de cobertura de las obligaciones residuales del gobierno y fortalecer el sector promoviendo el seguro colectivo y masivo. Sin embargo, es posible que por el tipo de estructura de financiación, se requiera una mayor centralización, lo que podría conllevar a un mecanismo menos eficiente y, adicionalmente, podría significar altos costos en términos de suscripciones en Bolsas de Valores en donde se transen los instrumentos financieros utilizados para la cobertura de riesgo y, la posibilidad de no llevar a cabo un exitoso manejo del portafolio. Una estructura de financiación está configurada por la asignación de uno o varios instrumentos financieros para cada uno de los distintos niveles de pérdida. Cada mecanismo permite cubrir determinados intervalos del nivel del monto de la pérdida lo que hace posible estructurar un sistema de cubrimiento de riesgos por capas. La Figura 7.13 ilustra de manera general una estructura de retención y transferencia con capas de exceso de pérdidas.

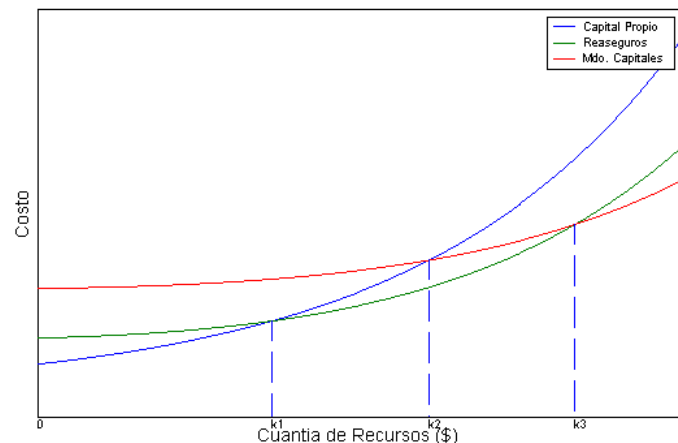


**Figura 7.13.** Ejemplo de estructura de retención y transferencia

La prioridad o deducible es el monto hasta el cual el asegurado (en el caso de los reaseguros el asegurador primario) retiene la totalidad del riesgo, es decir que hasta este punto el asegurado responde por la totalidad de sus pérdidas. A partir de un monto igual a la prioridad (attachment point) el asegurador o reasegurador responde por los

desastres que se presenten hasta un monto máximo o límite. El asegurador (o reasegurador) está entonces comprometido a cubrir las pérdidas que exceden el deducible hasta la cantidad establecida por el límite. La diferencia entre el monto deducible y el monto límite sería la capa a transferir a la industria de seguros. Ahora bien, según el tamaño del desastre, el mercado de seguros y de reaseguros puede organizarse en varias capas. El costo del aseguramiento y del reaseguramiento por capas está generalmente determinado por el ROL, para lo cual es importante contar con técnicas que permitan visualizar como cambia esta métrica. En el caso de que el ROL aumente significa que el cedente, es decir en este caso el gobierno, está pagando más por la misma cobertura.

Una vez conocida esta información, es posible mediante algoritmos de minimización de costos establecer la configuración óptima de los distintos mecanismos financieros disponibles dentro de la estructura asignando a cada fuente de financiamiento una capa de cubrimiento. Es decir que una vez que se conocen los costos de las diferentes fuentes de financiación para cada uno de los montos de pérdida probable, es posible establecer los porcentajes óptimos que cada mecanismo debe cubrir. Esta información permite establecer y evaluar las condiciones de los contratos de seguros y reaseguros y la factibilidad de emisión, por ejemplo, de un bono CAT. El problema de optimización que se enfrenta es similar al que se presenta en la Figura 7.14.



**Figura 7.14.** Costo financiero de los instrumentos de retención y transferencia

En esta figura se representan gráficamente los costos de cada una de las fuentes de financiación de las cuales dispone el gobierno para cubrir los riesgos por desastre. Se observa en esta gráfica que no es óptimo financiar la totalidad de los recursos ( $k$ ) a partir de una sola fuente de financiación y que en ciertos intervalos hay otras fuentes de financiación que pueden resultar menos costosas. Por esta razón es necesario entonces construir una función de costos totales que represente la suma ponderada de las fuentes de financiación, así:

$$CT(k) = \alpha CP(k) + \beta RE(k) + (1 - \alpha - \beta) MC(k) \quad (7.12)$$

donde  $CT(k)$  representa la función de Costo Total (que depende del nivel de capital o cuantía de recursos requeridos),  $CP(k)$  representa el costo de financiarse con capital propio,  $RE(k)$  el costo de financiarse vía reaseguradoras y finalmente  $MC(k)$  el costo de financiarse vía mercado de capitales. Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  definen la participación que cada una de las fuentes va a tener dentro de la estructura de financiación. Estos parámetros, en el caso del gobierno, son variables de control, ya que representan la decisión de qué instrumento de financiación utilizar en cada una de las capas de posibles pérdidas ante un desastre. Por la definición de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  como porcentajes de participación, se tiene que  $\alpha + \beta \leq 1$

Una vez establecidas las funciones de costo de cada fuente de financiación y la función de costo total, se procede a realizar la minimización de esta función de costo, controlando los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . Redefiniendo la función de costo total incluyendo en el dominio los parámetros de control, se tiene:

$$CT(k, \alpha, \beta) = \alpha CP(k) + \beta RE(k) + (1 - \alpha - \beta)MC(k) \quad (7.13)$$

y el problema para el gobierno se puede entonces definir como:

$$\min_{\alpha, \beta} CT(k, \alpha, \beta) \quad (7.14)$$

$$s. a. \alpha + \beta \leq 1 \quad \alpha, \beta \geq 0$$

Existen algoritmos de optimización que permiten hallar el óptimo (en este caso el mínimo) a partir de definir explícitamente la función (Marulanda *et al.* 2008a; Cardona 2009). Sin embargo, en la solución de este problema no se cuenta con una función de costo total explícita, sino que en vez de ello se tienen series de datos a partir de los cuales se puede construir numéricamente la forma funcional de  $CP(k)$ ,  $RE(k)$ , y  $MC(k)$ . Además, la restricción que tienen los parámetros  $\alpha + \beta \leq 1$  y  $\alpha, \beta \geq 0$  limita el conjunto de valores que estos parámetros puedan tomar. De esta manera, el problema a resolver debe ser tratado a partir de métodos numéricos, hallando los valores de la función Costo Total para diferentes valores de los parámetros  $\alpha, \beta$ . Una vez calculados estos valores con un programa computacional, este mismo debe tener la capacidad de hallar el más pequeño de estos valores de la función de Costo Total, junto con los valores correspondientes para  $\alpha$  y  $\beta$ . Este tipo de análisis se debe realizar con el fin de estimar la estructura de financiación más conveniente u óptima para el gobierno.

Es importante anotar que las condiciones de los mercados de seguros y capitales a nivel global son permanentemente cambiantes por lo que es muy importante monitorear constantemente los cambios en los costos de los distintos mecanismos de transferencia del riesgo y opciones de financiamiento. Esto permite a los diseñadores de la política económica aprovechar las distintas oportunidades que ofrece el mercado para diversificar el riesgo y reducir costos.

En conclusión, una vez realizado el análisis previamente descrito, tanto el gobierno como las aseguradoras estarían en capacidad de decidir sobre la tarifa de un contrato de exceso de pérdida. Ahora bien, existen variaciones del contrato de exceso

de pérdida, especialmente implementadas por el sistema de reaseguros, en las cuales la prioridad y el límite no están determinados por el monto de la pérdida sufrida por el asegurado, sino por índices de pérdida del mercado de seguros o por parámetros objetivos como el nivel de lluvias o la actividad sísmica, que se utilizan como índices paramétricos o disparadores. Para calcular las primas de estos contratos, se debe establecer una relación entre las pérdidas que se presentan para el asegurado y los factores que determinan la prioridad y el límite.





## Capítulo 8.

# MODELIZACIÓN DEL RIESGO A NIVEL URBANO

Una apropiada evaluación de las pérdidas probables y de los costos de reconstrucción a causa de terremotos puede llegar a ser un potente incentivo para que los gobiernos exploren opciones e instrumentos de planificación que les permita afrontar el riesgo. De una buena modelización y un lenguaje apropiado depende que se asignen recursos presupuestales sostenibles para reducir los daños potenciales y para garantizar el adecuado desarrollo económico y social. A continuación se presentan los resultados de la modelización del riesgo catastrófico para evaluar, edificio por edificio, las pérdidas probables y las primas puras de diferentes portafolios, teniendo en cuenta la microzonificación sísmica de las ciudades. Este modelo permite estimar los pasivos contingentes del gobierno y para construir una estructura óptima para la transferencia y la retención del riesgo, considerando créditos contingentes, fondos de reserva, aseguramiento/reaseguramiento y bonos de catástrofe. Adicionalmente, se presenta un esquema de aseguramiento innovador para cubrir las edificaciones privadas, incluyendo todos los propietarios de bajos ingresos mediante el uso de subsidios cruzados. Este Capítulo describe la aplicación de los modelos en las ciudades de Manizales, Bogotá y Barcelona.

### 8.1. Modelización probabilista del riesgo de Manizales

Manizales, Colombia, es una ciudad propensa a varios tipos de amenazas tales como sismos, deslizamientos, erupciones volcánicas, entre otras. Adicionalmente su crecimiento demográfico y expansión urbana en zonas de alto riesgo exacerbaban la susceptibilidad a los diferentes tipos de amenazas naturales, socio-naturales y antrópicas. La persistencia de los impactos negativos ha llevado a la ciudad a crear una cultura del riesgo que se ha visto reflejada en las diversas acciones y políticas de gestión del riesgo implementadas, lograda a través de la voluntad y compromiso político y técnico de diferentes entidades e instituciones de la ciudad. Sin embargo, es necesario maximizar su efectividad y desempeño para consolidar las buenas prácticas alcanzadas hasta el momento. En este orden de ideas, con el fin de cubrir las posibles pérdidas de la población así como promover e incentivar la prevención y mitigación de riesgos por amenazas naturales, socio naturales o antrópicas, la administración

municipal, en conjunto con la academia y el sector privado, diseñó e implementó el seguro colectivo voluntario para proteger las edificaciones tanto del sector público como privado de la ciudad frente a desastres y teniendo en cuenta primordialmente el riesgo sísmico. Este seguro consiste en el pago de una prima de riesgo cuya cuantía es proporcional al valor catastral de cada edificación y la cual es recaudada por medio del formulario del impuesto predial en períodos de dos meses o de un año (descuento por pago anticipado). El pago del seguro es voluntario por lo que en el pago del impuesto es posible realizar un pago extra para suscribir el seguro o mantener únicamente el pago del impuesto (Marulanda 2009).

El beneficio social de este seguro colectivo consiste en el hecho de que una vez se ha alcanzado el porcentaje o umbral definido del valor asegurable de las propiedades en el área municipal, por ejemplo, aquellos que pagan la prima del seguro, la cobertura de protección se extiende a las propiedades de las personas de bajos recursos, cuyo valor de la propiedad está exento del impuesto predial. La posibilidad de cubrir los estratos socioeconómicos más bajos y, sobretodo la promoción de una cultura del riesgo en Manizales fue considerada de especial interés por la administración municipal, quien se restringe únicamente a recolectar las primas mediante la factura del impuesto predial. La compañía aseguradora es la que tiene la relación contractual directa con el asegurado, y, por lo tanto, es la encargada de resolver los problemas y los procesos de reclamación derivados de la póliza.

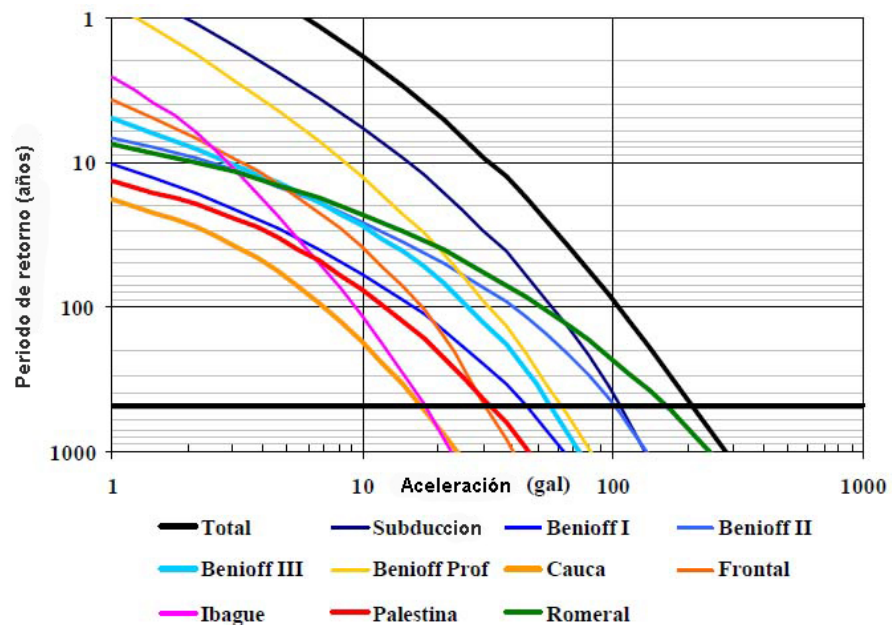
Este instrumento de protección financiera se perfeccionó con base en los estudios técnicos y científicos de amenaza y riesgo sísmico, realizados en el marco de esta investigación y los estudios previos que la Unidad Municipal de Gestión del Riesgo (antes OMPAD, Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres) ha promovido desde años atrás. El esquema o mecanismo de transferencia de riesgo de desastres propuesto ha sido el resultado del desarrollo de una serie de evaluaciones usando un modelo sofisticado de riesgo catastrófico –utilizando el enfoque descrito en el Capítulo 6– el RN Col v.2.1. Manizales cuenta con información sísmica detallada, incluyendo la microzonificación sísmica de la ciudad (ITEC 2004), así como también se dispone de información adecuada de las edificaciones de la ciudad, lo cual es esencial para obtener las métricas probabilistas del análisis de riesgo. Con los resultados obtenidos, ha sido posible proponer diferentes esquemas de transferencia y retención del riesgo y diseñar un instrumento colectivo de transferencia del riesgo para cubrir los daños y pérdidas de los propietarios de bajos recursos mediante subsidios cruzados y promover la cultura del seguro (Cardona 2004; Cardona *et al.* 2005a; Cardona *et al.* 2005b; Marulanda 2009).

### **8.1.1. Estimación de la amenaza sísmica**

En el caso de Manizales aparte de la información existente sobre la amenaza sísmica en roca, obtenida para las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (AIS 2010), se llevó a cabo una evaluación de la amenaza sísmica para tener en cuenta con el mayor detalle posible la participación de las fuentes sismogénicas más cercanas. La Figura 8.1 presenta la participación relativa en términos de las tasas de excedencia de cada una de las fuentes sismogénicas principales y los

valores de amenaza sísmica obtenida de la integración de los valores de amenaza de cada una de las fuentes para ciudad.

De las curvas de amenaza obtenidas se puede seleccionar una tasa de excedencia asociada a un período de retorno, como se presenta en la línea horizontal en la Figura 8.1, para 475 años. Este es el valor señalado por la Ley 400 de 1998 para efectos del diseño y al construcción sismorresistente. De esta forma, entonces, se puede definir el valor del parámetro sísmico de interés para un estado de funcionalidad.



**Figura 8.1.** Tasas de excedencia en roca para Manizales

El modelo considera la propagación de las ondas sísmicas por medio de leyes de atenuación espectrales probabilistas. La definición de las leyes de atenuación para diferentes tipos de fuentes sismogénicas (“activa” para las fuentes continentales y “subducción” para las fuentes de subducción) basados en registros regionales de movimiento recientes fueron desarrolladas por Gallego (2000). Por otro lado, con relación a la geología local, los efectos locales del suelo pueden generar efectos importantes en la amplitud y la frecuencia de las ondas por tratarse de suelos de origen volcánico. Manizales cuenta con estudios detallados de las propiedades dinámicas de los suelos y su caracterización así como de los efectos topográficos (CEDERI 2002), con los cuales se subdividió la ciudad en zonas de microzonificación. Las características dinámicas no lineares de sus suelos se obtuvieron mediante pruebas in situ<sup>1</sup> y de comportamiento dinámico en el laboratorio<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Cono sísmico, presiómetro cíclico, velocidad de onda de cortante *down hole*

<sup>2</sup> Triaxial cíclico, columna resonante, velocidad de onda de cortante

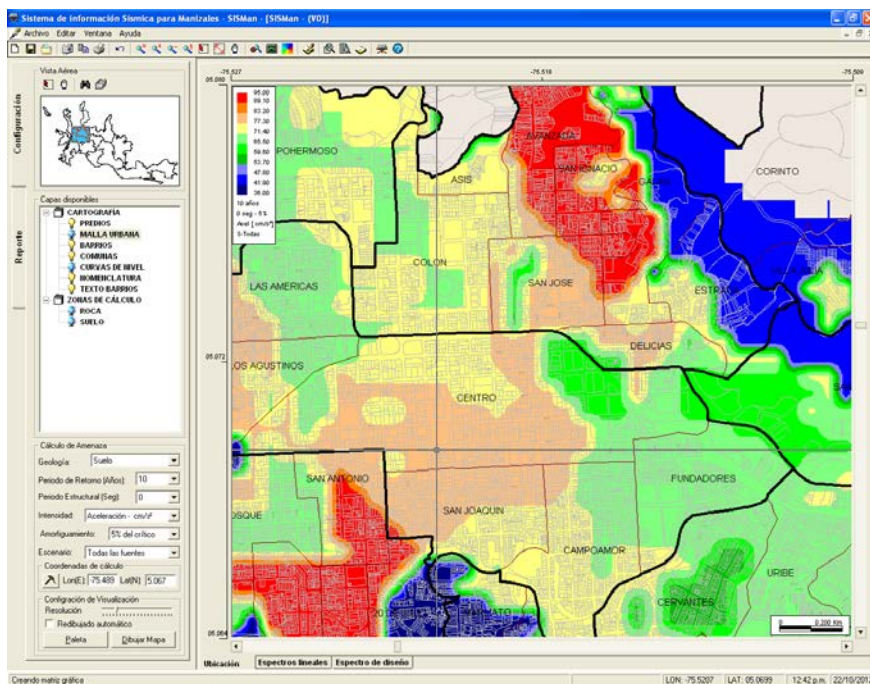


Figura 8.2. Imagen del software interactivo de microzonificación sísmica de la ciudad de Manizales

Posteriormente se obtuvieron los espectros de respuesta (aceleración, velocidad y desplazamiento) para cualquier sitio de la ciudad con fines de diseño sismorresistente. Esta información, se puede obtener a nivel de predio mediante el programa Información Sísmica para Manizales (SISMan)<sup>3</sup> (ITEC 2004). En la Figura 8.2 se presenta una imagen del software SisMan para la microzonificación sísmica de Manizales. Con esta plataforma se determinan los espectros de diseño de aceleración, velocidad y desplazamiento que los ingenieros estructurales deben utilizar en cada sitio de la ciudad para efectos de cumplir con las exigencias sismorresistentes en el proceso de diseño y construcción de los edificios. Además, la ciudad cuenta con una red de instrumentación sísmica de acelerómetros que no sólo sirve para mejorar los modelos analíticos utilizados sino para el desarrollo del Laboratorio de Instrumentación Sísmica Automática (LISA)<sup>4</sup> para la evaluación inmediata sin intervención humana en tiempo

<sup>3</sup> El sistema comprende la información geográfica de toda la ciudad incluyendo la cartografía general, ríos, carreteras, lugares de interés, localización de edificios esenciales y especiales, información geológica y geotécnica. Esta herramienta permite, además de obtener la amenaza sísmica para cada punto de la ciudad considerando los efectos locales, obtener la tasa de excedencia de múltiples ordenadas espectrales para obtener los espectros de diseño útiles para propósitos de construcción.

<sup>4</sup> Actualmente existe una estación que se construyó en el marco de un convenio de cooperación académica entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Nacional Autónoma de México. Este sistema está previsto ampliarlo a otras estaciones similares entre 2013 y 2014, para tener redundancia y mejorar el conocimiento de la respuesta dinámica del suelo.

real de los posibles daños que se hayan presentado en la ciudad en caso de un terremoto fuerte (CEDERI 2002).

En resumen, la amenaza sísmica de Manizales ha sido evaluada con técnicas avanzadas de evaluación de la amenaza sísmica a nivel regional y local y utilizando este tipo de información ha sido posible llevar a cabo la modelización aquí descrita con fines de evaluación del riesgo sísmico y protección financiera.

### 8.1.2. Exposición

La base de datos necesaria para el análisis del riesgo sísmico para Manizales se basó en la información disponible suministrada por la Administración Municipal y se complementó con información adicional suministrada por otras entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), fotografías aéreas, visitas de campo, mapas históricos de la ciudad. Para el proceso de verificación y complementación (en casos donde había falta de datos) del sistema estructural se usó un algoritmo considerando parámetros disponibles y la calidad de estos parámetros de acuerdo a la confiabilidad de la información.

La base de datos de exposición de las edificaciones privadas de Manizales<sup>5</sup> para el cálculo del riesgo sísmico se constituyó con variables representativas como: valor asegurado<sup>6</sup>, estrato socio-económico<sup>7</sup>, fecha de construcción, número de pisos, sistema estructural y localización. Para el análisis se obtuvieron 85.816 inmuebles válidos (para el propósito del proyecto), de los cuales 15.741 pertenecen a predios exentos del impuesto predial y 70.345 corresponden a predios no exentos. Con base en esta clasificación se construyeron tres portafolios para el análisis: 1) Inmuebles no exentos del pago del impuesto predial (avalúo superior a Col\$8.950.000), 2) Inmuebles exentos del impuesto predial (avalúo menor o igual a Col\$8.950.000) y 3) portafolio total que incluye los dos anteriores para hacer una evaluación global del riesgo. La Tabla 8.1 presenta el número de registros y el valor asegurado correspondiente a cada portafolio de análisis (Marulanda 2009).

---

<sup>5</sup> Se incluyeron parámetros adicionales mediante el levantamiento de información a partir de fotografías aéreas, visitas de campo y mapas. Adicionalmente, se utilizó un algoritmo de optimización para deducir el sistema estructural. En los casos donde no existía información o no fuese posible inferirla con base en la información existente se establecieron parámetros por defecto (Marulanda 2009).

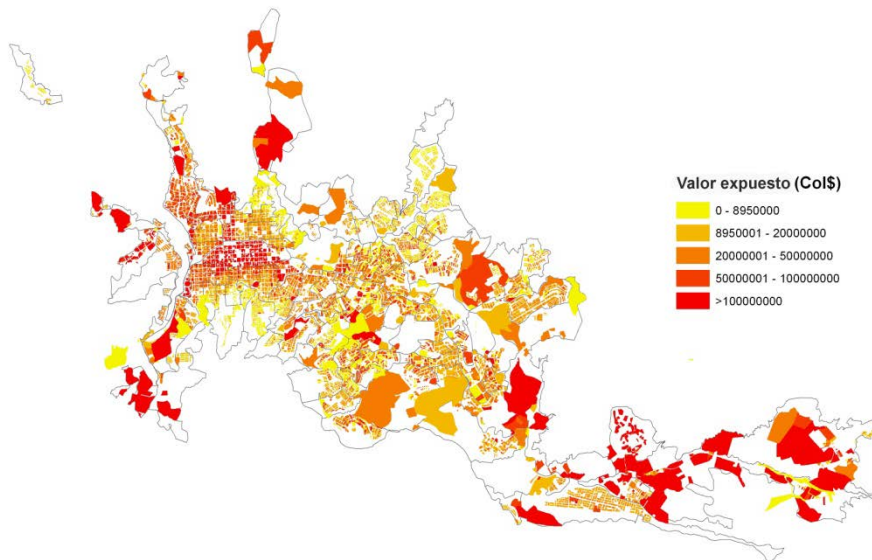
<sup>6</sup> Considerando que el valor catastral es un valor legal y que ha sido aplicado en el pasado para el esquema de aseguramiento colectivo, se establece como el valor asegurado para esta evaluación. Esto implica que las pérdidas reales generadas están limitadas al valor catastral. Para este estudio, el valor catastral es considerado como un límite de responsabilidad de primer riesgo.

<sup>7</sup> Los estratos socioeconómicos en Colombia son una clasificación de las edificaciones residenciales de acuerdo a las distintas características socioeconómicas. Se realiza para cobrar de manera diferencial por estratos los servicios públicos permitiendo asignar subsidios y cobrar contribuciones (DANE)

**Tabla 8.1.** Características principales de los portafolios de análisis.  
Valores en Col\$ (US\$ 1: Col\$ 2.000)

Portafolio	Descripción	Nº registros	% registros	Valor asegurado (millones Col\$)	% valor asegurado
1	Exentos	15.342	18%	\$ 78.590	3%
2	No exentos	70.474	82%	\$ 3.036.460	97%
3	Total	85.816	100%	\$ 3.115.050	100%

La Figura 8.3 presenta el valor físico de las edificaciones privadas de la ciudad de Manizales, Colombia. El color amarillo corresponde a los edificios con un valor menor a Col\$8.950.000, es decir, edificaciones que corresponden a propietarios de bajos recursos. Los valores mayores a Col\$8.950.000 (colores de naranja a rojo) corresponden a los propietarios no exentos del pago del impuesto predial.



**Figura 8.3.** Valor expuesto de las edificaciones privadas de la ciudad de Manizales, Colombia

### 8.1.3. Vulnerabilidad de los edificios

Las características urbanas y la dinámica de la ciudad de Manizales han estado aumentando la exposición de la ciudad frente a la amenaza sísmica. La ciudad ha crecido en un área con una topografía abrupta, con particularidades geológicas especiales y con problemas de planificación urbana que han permitido la construcción en áreas peligrosas. A principios del siglo XIX el tipo de construcción más común era el bahareque, sin embargo después de los dos incendios masivos ocurridos en 1923 y 1925 en la ciudad, la población comenzó a usar otro tipo de materiales, más resistentes al fuego. Por lo tanto, abandonaron la cultura de la madera o la tecnología de bahareque

para adoptar el mito del concreto y construcciones de mampostería. Estas estructuras más rígidas, el incremento de la población y el rápido crecimiento urbano llevaron a una ciudad más vulnerable. Sin embargo, después del terremoto de 1979, que generó importantes pérdidas en la ciudad, se expidió, en 1981, el primer código de construcciones sismorresistentes en la ciudad, que de paso fue el primero del país. Colombia cuenta con un código de construcción que ha sido continuamente actualizado desde 1984, permitiendo una mejor calidad de construcción y este hecho se ve reflejado en la disminución de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

El sistema RN-Col que se aplicó en Manizales para el cálculo del riesgo sísmico cuenta con un total de 20 tipos de construcción. Como se presenta en la Tabla 8.2. La Figura 8.4 y la Figura 8.5 presentan las curvas de vulnerabilidad en términos de aceleración máxima y distorsión de piso o la deriva de la edificación respectivamente, para los diferentes tipos de construcción. El sistema también permite el uso de curvas de vulnerabilidad específicas para otros tipos estructurales (Cardona *et al.* 2008b; Cardona *et al.* 2008a; Cardona *et al.* 2008c; Cardona *et al.* 2008d).

**Tabla 8.2.** Tipos estructurales de Manizales considerados en el sistema RN-Col

Cálculo del daño basado en aceleración		Cálculo del daño basado en la deriva entre pisos	
Código	Descripción	Código	Descripción
1	Muros de adobe/tapia	10	Mampostería semiconfinada
2	Bahareque	11	Mampostería confinada
3	Mampostería no reforzada - sin diafragma (1 piso)	12	Mampostería reforzada
4	Mampostería no reforzada - con diafragma rígido (1 piso)	13	Losa plana / reticular celulado sin vigas
5	Mampostería no reforzada (2 pisos)	14	Pórticos de concreto poco reforzados con tabiques de mampostería
6	Mampostería no reforzada (> 2 pisos)	15	Pórticos de concreto bien reforzados con tabiques de mampostería
7	Bodega de cubierta ligera y muros de mampostería no reforzada	16	Pórticos de concreto reforzado con muros de cortante
8	Estructura de madera liviana	17	Muros de cortante de concreto reforzado
9	Iglesia	18	Bodega de cubierta ligera, columnas de acero y muros de mampostería
		19	Bodega de cubierta ligera, columnas de concreto y muros de mampostería
		20	Pórticos de acero



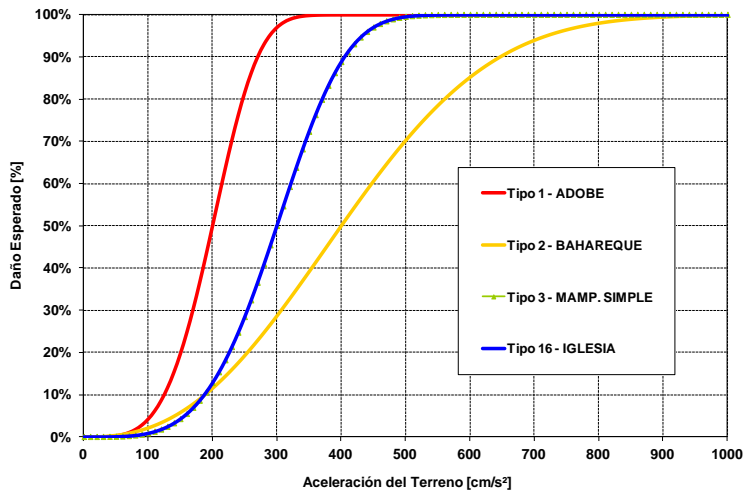


Figura 8.4. Curvas de vulnerabilidad basadas en la aceleración máxima

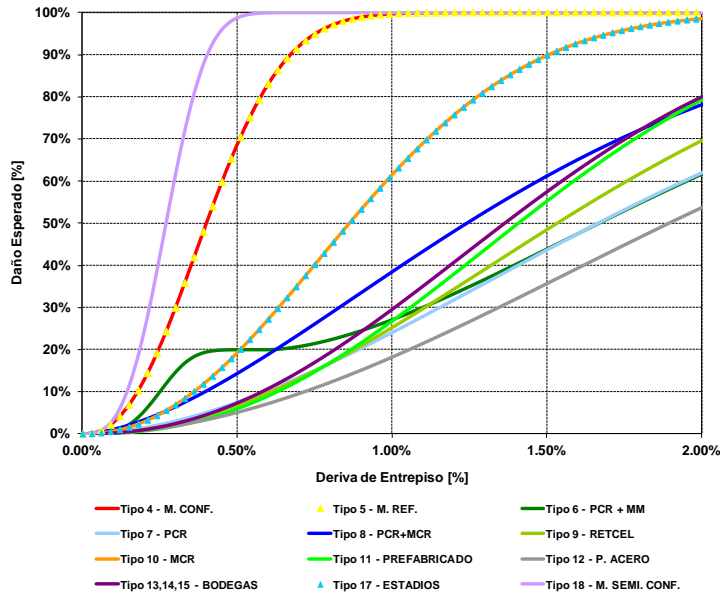


Figura 8.5. Curvas de vulnerabilidad basadas en la deriva

#### 8.1.4. Evaluación de daños y pérdidas

Los desastres extremos están caracterizados por la ocurrencia de fenómenos de baja frecuencia/alta severidad, además, por la dificultad de predecir el momento y lugar de su ocurrencia. Todos los costos de prevención que aumentan desproporcionadamente con la severidad de las consecuencias y las pérdidas generadas por estos eventos pueden causar problemas de solvencia e inseguridad económica. De este modo, se deben diseñar, analizar y establecer estructuras combinadas de diversos instrumentos y opciones financieros adecuados que cubren varias capas del riesgo de acuerdo a los beneficios y costos que permiten al gobierno enfrentar las consecuencias de un evento extremo sin comprometer la estabilidad financiera y fiscal y minimizando las pérdidas sociales (Pollner 2001; Cummins 2008; Marulanda *et al.* 2008a; Cardona 2009). Las distintas capas de la estructura de retención y transferencia se establecen dependiendo de la capacidad de solvencia de cada uno de los agentes participantes y de la conveniencia en términos de beneficios y costos de cada una de las distintas fuentes de financiamiento disponibles dado que no es óptimo financiar la totalidad de los recursos a partir de una sola fuente de financiación y que en ciertos intervalos hay otras fuentes de financiación que pueden resultar menos costosas (Ordaz *et al.* 2003; Grossi *et al.* 2005; Cardona *et al.* 2008c; Banks 2004).

Para la estimación de las pérdidas del grupo de edificaciones incluida en la base de datos se utilizó el sistema RN-COL Versión 2.1 el cual permite el cálculo de los valores de prima pura de riesgo para cada una de las edificaciones y para el conjunto o portafolio de edificaciones y la evaluación de la pérdida máxima probable para la base de datos total así como el valor esperado de la pérdida para cada edificación. Este modelo también permitió estimar las pérdidas considerando la influencia de deducibles, límites de responsabilidad y coaseguro.

El objetivo general de los modelos de riesgo es calcular el nivel general de exposición de infraestructura o un grupo de edificaciones o activos, tomando como parámetros principales de evaluación la Prima Pura de Riesgo o Prima Técnica para cada registro y para todo el grupo de edificaciones, y la Pérdida Máxima Probable de todo el grupo de edificaciones (Ordaz *et al.* 2003; Cardona *et al.* 2008a). Establecidos los rangos de las pérdidas y sus respectivas probabilidades, se pueden elegir los instrumentos y opciones financieras más adecuados para minimizar las pérdidas económicas y sociales.

El análisis de riesgo para Manizales se realizó para diferentes porcentajes de deducible: 0%, 1.5% y 3% del valor asegurable (Avalúo catastral) para cada portafolio de análisis como se presenta en la Tabla 8.3, Tabla 8.4, Tabla 8.5

**Tabla 8.3** Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles privados con 0% deducible

DEDUCIBLE 0%							
ASPECTO		Inmuebles privados					
		Exentos		No exentos		Total	
Número de inmuebles		15,342		70,474		85,816	
Valor asegurado, valor catastral (MDP)		\$ 78,590		\$ 3,036,460		\$ 3,115,050	
Prima Pura Promedio		MDP	% catastral	MDP	% catastral	MDP	% catastral
		\$ 93	1.178	\$ 9,747	3.180	\$ 9,747	3.210
PML	Periodos de retorno	MDP	% catastral	MDP	% catastral	MDP	% catastral
	100 años	\$ 1,766	2.25%	\$ 3,332	4.24%	\$ 130,479.70	4.19%
	500 años	\$ 5,550	7.06%	\$ 8,185	10.41%	\$ 321,591.70	10.32%
	1000 años	\$ 7,367	9.37%	\$ 10,887	13.85%	\$ 427,797.94	13.73%
	1500 años	\$ 8,698	11.07%	\$ 12,679	16.13%	\$ 498,441.35	16.00%
Pérdida esperada (%)		\$ 23,061	29.34%	\$ 989,582	32.59%	\$ 1,012,751.66	32.51%

**Tabla 8.4** Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles privados con 1.5% deducible

DEDUCIBLE 1.5%							
ASPECTO		Inmuebles privados					
		Exentos		No exentos		Total	
Número de inmuebles		15,342		70,474		85,816	
Valor asegurado, valor catastral (MDP)		\$ 78,590		\$ 3,036,460		\$ 3,115,050	
Prima Pura Promedio		MDP	% catastral	MDP	% catastral	MDP	% catastral
		\$ 68	0.882	\$ 7,048	2.365	\$ 7,116	2.388
PML	Periodos de retorno	MDP	% catastral	MDP	% catastral	MDP	% catastral
	100 años	\$ 1,374	1.75%	\$ 134,258.03	3.54%	\$ 108,736.48	3.49%
	500 años	\$ 4,866	6.19%	\$ 355,214.08	9.34%	\$ 288,344.68	9.26%
	1000 años	\$ 6,589	8.38%	\$ 482,499.72	12.66%	\$ 390,874.24	12.55%
	1500 años	\$ 7,861	10.00%	\$ 567,679.10	14.88%	\$ 459,413.84	14.75%
Pérdida esperada (%)		\$ 21,926	27.90%	\$ 1,214,419.54	31.13%	\$ 967,289.76	31.05%

**Tabla 8.5** Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles privados con 3% deducible

DEDUCIBLE 3%							
ASPECTO		Inmuebles privados					
		Exentos		No exentos		Total	
Número de inmuebles		15,342		70,474		85,816	
Valor asegurado, valor catastral (MDP)		\$ 78,590		\$ 3,036,460		\$ 3,115,050	
Prima Pura Promedio		MDP	% catastral	MDP	% catastral	MDP	% catastral
		\$ 56	0.741	\$ 5,736	1.963	\$ 5,792	1.982
PML	Periodos de retorno	MDP	% catastral	MDP	% catastral	MDP	% catastral
	100 años	\$ 1,394	1.42%	\$ 115,079.72	3.03%	\$ 116,445.89	2.99%
	500 años	\$ 5,388	5.48%	\$ 320,464.01	8.43%	\$ 325,644.18	8.35%
	1000 años	\$ 7,421	7.55%	\$ 441,982.26	11.59%	\$ 449,192.38	11.49%
	1500 años	\$ 8,936	9.09%	\$ 523,991.72	13.72%	\$ 532,788.96	13.60%
Pérdida esperada (%)		\$ 26,747	26.51%	\$ 1,160,860.83	29.72%	\$ 1,187,607.83	29.64%

El valor promedio de prima pura para todos los inmuebles de Manizales, con un deducible de 3% es de 1.982‰, lo que equivale a 5.792 millones de pesos. Teniendo en cuenta que la prima de seguros incluye otros gastos (costo del reaseguro, gastos administrativos, utilidad de la compañía, etc.) el aseguramiento total de los inmuebles de la ciudad (2.2- 2.5 millones de dólares) es una cifra de especial interés para el sector de los seguros. Este valor sólo se lograría si todos los propietarios voluntariamente pagaran la prima correspondiente o si se cobrara el seguro en forma obligatoria. En caso de que no se incluyeran los predios Exentos, dado que no tienen capacidad de pago, la prima sería de 1.963‰, que equivale a una cifra similar de 5.736 millones de pesos. Claramente, la prima de los predios Exentos, que corresponde al 0.741‰, es una cifra muy modesta, equivalente a 56 millones, que corresponde al 0.97% del valor de la prima total de la ciudad. Esta circunstancia es prometedora de inicio para explorar la manera como el municipio puede proteger este segmento y estimular el aseguramiento general de los inmuebles privados de la ciudad, a lo que se hará referencia más adelante.

El efecto del deducible en los resultados generales de los análisis, que significa los valores que tendrían que retener los propietarios de los inmuebles privados (o el municipio por ejemplo en el caso de los Exentos) según el acuerdo al que se llegue con la compañía de seguros, se presenta en la Tabla 8.6. El deducible es importante para la negociación del seguro, pues en caso de ser un valor alto reduciría el pago de la compañía de seguros en una fracción importante con respecto a la pérdida total real que se presente. La prima varía, no obstante, según sea el valor del deducible. Ahora bien, el deducible lo deben asumir los propietarios que pagan el seguro voluntario y la ciudad (cuando se trate de los Exentos) con recursos propios o debe tener previsto un mecanismo de financiación para cubrir dicho valor. En otras palabras el deducible establece un primer nivel de retención de riesgo que es necesario considerar y evaluar las implicaciones del mismo. En la Tabla 8.6 se presentan los valores correspondientes al deducible de cada portafolio de inmuebles. El deducible de especial interés sería el de los Exentos.

**Tabla 8.6.** Efectos del deducible en el valor de la prima y el PML para el portafolio total

Deducible [%]	Deducible [MDP]	Prima Pura [‰]	Prima Pura [MDP]	PML 1500 [%]	PML 1500 [MDP]
0	0	3.210	\$ 9,747	16.00%	\$ 498,441.35
1.5	\$ 46,725.75	2.388	\$ 7,116	14.75%	\$ 459,413.84
3	\$ 93,451.49	1.982	\$ 5,792	13.60%	\$ 532,788.96

Como se puede observar en la Tabla 8.6, el valor de la prima disminuye considerablemente en la medida que el deducible se incrementa. Esto significa, como está claro en el mercado de seguros, que las capas inferiores, que corresponden a las de mayor probabilidad de ocurrencia, son las que representan los mayores valores de prima.

Por otro lado, para Manizales se propone la estructura de capas debido al objetivo de lograr el mayor aseguramiento de los inmuebles privados y, como punto de partida, el cubrimiento total de los inmuebles de los estratos socio-económicos más pobres, representados en los inmuebles Exentos. Dicho cubrimiento se puede lograr mediante un instrumento, como el que ya ha tenido la ciudad (ver Anexo H), en el cual la prima de los inmuebles Exentos podría ser cubierta con el aseguramiento voluntario de un porcentaje de los inmuebles No Exentos. El deducible de los Exentos es cubierto por el municipio o el gobierno nacional (primera capa retenida). La segunda capa sería la que asume la compañía de seguros que desarrolla el instrumento, cuya prima podría reducirse, de ser necesario, limitando su responsabilidad. Se tendría, entonces, una capa superior en la cual el gobierno participa (generando un subsidio en la prima de los No Exentos).

Con base en los estudios de riesgo realizados para los parámetros escogidos y para los diferentes deducibles y, después de un análisis de las alternativas propuestas se determinó que el escenario más apropiado y factible para la administración pública, la secretaría de hacienda, la secretaría jurídica y la Unidad Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (antes OMPAD) de Manizales, es la estructura de retención y transferencia del riesgo que hace referencia al modelo con un 3% de deducible del valor asegurado (Marulanda 2009). La Figura 8.6 presenta la estructura de retención, transferencia y financiamiento del riesgo de las edificaciones privadas de la ciudad con base en las pérdidas probables estimadas

Para cubrir los edificios exentos es necesario que los propietarios no exentos del impuesto predial cubran (subsilien) el total de las primas de los exentos (Col\$56 millones). Esto significaría aumentar en Col\$56 millones el valor de la prima total para el portafolio de edificios no exentos, independiente del número de personas voluntarias para suscribir el seguro (Marulanda 2009). En el caso de que todos los propietarios no exentos del pago del predial participen en el aseguramiento, la prima pura sería del orden de 1.96‰. Sin embargo no es posible porque algunas personas ya cuentan con un seguro (póliza hipotecaria, por ejemplo) con otras compañías de seguro, u otra gente no está dispuesta a tomar el seguro.

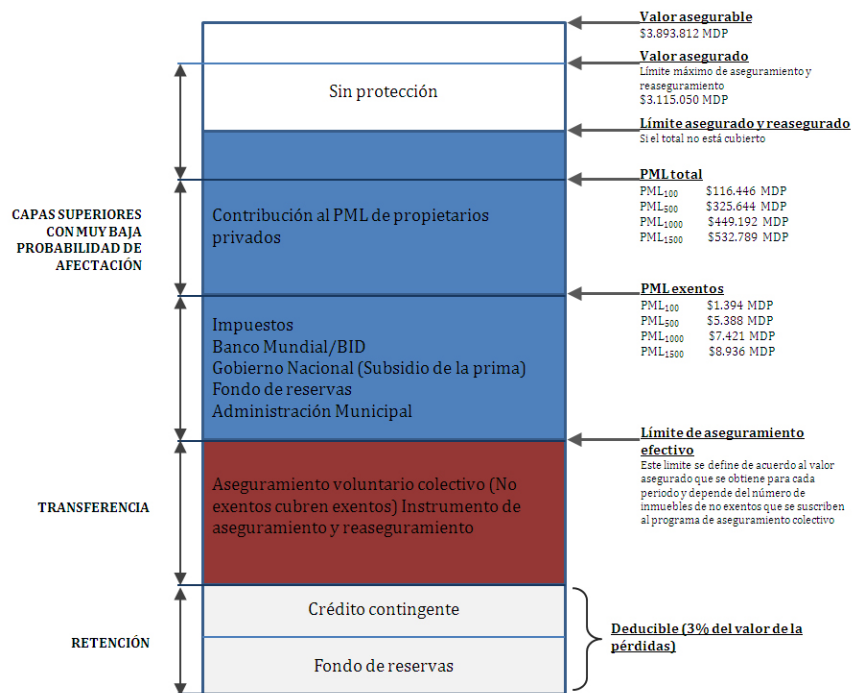


Figura 8.6. Estructura de retención y transferencia con 3% deducible (US\$ 1 millón: Col\$ 2.000 MDP)

La Figura 8.7 ilustra el comportamiento de la prima pura promedio de los no exentos dependiendo del porcentaje de predios que participa en el seguro voluntario y la forma como la prima aumenta si se cubren los propietarios exentos de la ciudad (Marulanda 2009).

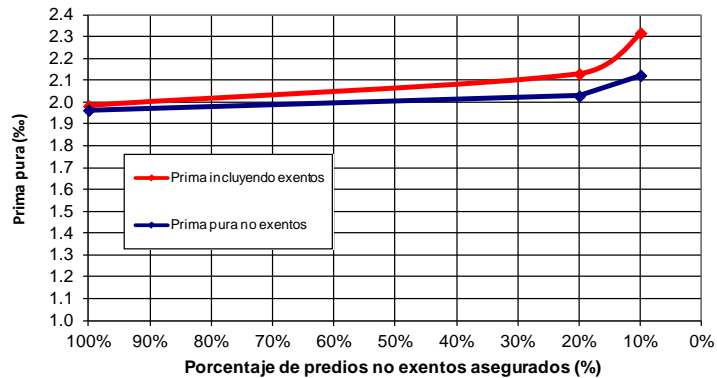
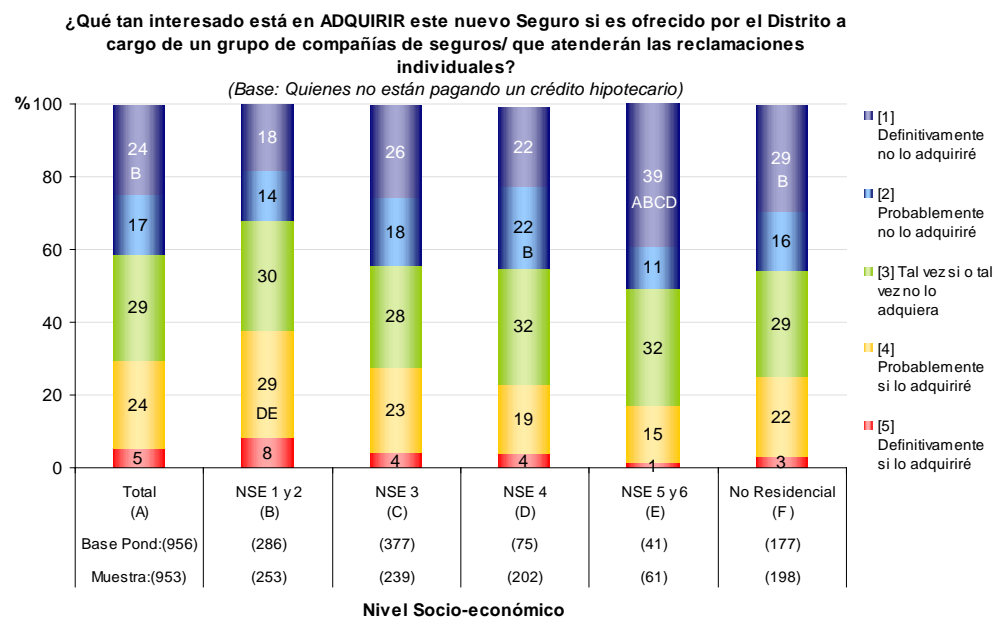


Figura 8.7. Prima pura promedio de la cartera de predios No Exentos para diferentes porcentajes de predios asegurados con respecto al total de la cartera

En relación a la prima pura de los no exentos y la prima incluyendo a los exentos, se observa que si existe una participación del 10% de los predios de no exentos, el valor del subsidio cruzado pasaría de ser del orden de 2.1‰ al 2.3‰. En el caso de que la participación sea de aproximadamente el 20% de los predios la prima sería alrededor de 2.1‰ incluyendo los estratos más bajos y del 2.0‰ sin incluirlos. Estas cifras resultan positivas tanto para el municipio como para los participantes dado que a pesar de que la prima pura aumenta, como es de esperarse, este incremento no es muy significativo, lo que permite considerar que lograr un porcentaje de participación de mínimo el 10% de los propietarios no exentos hace viable el subsidio de los propietarios más pobres. Con respecto al deducible de los edificios exentos, se propuso que el gobierno cubriera la primera capa de las pérdidas que se presenten en caso de desastre. Finalmente, posterior a negociaciones realizadas entre la administración municipal y la compañía de seguros (La Previsora) se estimó y se acordó una prima pura anual del 2.5‰ del valor catastral de cada predio. El deducible se acordó en el 3% del valor de la pérdida en caso de terremoto y el 10% para otro tipo de fenómenos naturales o eventos como huelga, motín, asonada, conmoción civil o popular, actos malintencionados de terceros o terrorismo. Dado que el nivel de participación durante el primer año de establecimiento del seguro colectivo fue del 12.4% en promedio, se acordó entre la administración pública y la compañía de seguros cubrir en su totalidad los estratos socio-económicos más pobres de Manizales.

## **8.2. Modelización probabilista del riesgo catastrófico para Bogotá**

Teniendo en cuenta la experiencia exitosa de Manizales, la Secretaría Distrital de Hacienda de Bogotá decidió hacer un estudio cuidadoso de riesgo desde el punto de vista probabilista para determinar las pérdidas máximas probables y primas que permitieran diseñar un instrumento similar de aseguramiento colectivo de vivienda y estudio de mercado para ver la factibilidad de su implementación en Bogotá. La Figura 8.8 ilustra algunos de los resultados del estudio de mercado realizado en Bogotá.



**Figura 8.8.** Distribución porcentual de hogares dispuestos a participar en el programa de aseguramiento colectivo (hogares sin hipoteca vigente y sin seguro)

Del estudio de mercado en Bogotá se concluyó que el 27% de las viviendas de la ciudad se encuentran aseguradas, sin embargo, este porcentaje incluye las viviendas que están aseguradas de forma obligatoria por la existencia de los créditos hipotecarios. Cuando se estima el porcentaje de viviendas aseguradas voluntariamente, este porcentaje disminuye a 16%. No obstante, existe un nivel de conciencia aceptable de las consecuencias importantes que podría tener un sismo así como un alto interés por el seguro como concepto, pero aún no existe una cultura de prevención para reducir la posibilidad de pérdidas y daños, adicionalmente, al conocer el posible valor de la prima a través de un programa de seguro colectivo voluntario, dado que los valores percibidos por los propietarios tienden a ser estimados muy por debajo de las primas promedio evaluadas lo que puede generar rechazo en el momento de implementar el producto, y esto se ve reflejado en la reducción de aproximadamente un 40% en la intención de adquirir el seguro. A pesar de existir un rango de precios aceptables, estos no se acercan al precio aproximado promedio de prima que se esperaría se tendría que cobrar según la percepción de la gente. Por otro lado, el nivel de cobertura esperado tiende a ser más exigente en los estratos más altos, donde muy pocos propietarios estarían dispuestos a cubrir parte de su patrimonio como deducible o coaseguro inevitable de la póliza por tratarse de un valor máximo de cobertura menor que el valor comercial del inmueble, mientras que el interés en que esta póliza llegara a ser de cobro obligatorio, es mayor en los estratos más bajos de la población, donde ven con mayor impacto el beneficio colectivo que podría tener en viviendas de condiciones similares a las propias



Una campaña de sensibilización hacia este producto podría mostrar los beneficios de cubrir los inmuebles mediante un comparativo en el cual los propietarios de viviendas de la ciudad, puedan observar de una forma más didáctica, cuál sería la reducción en el impacto sobre sus finanzas si se presentara un desastre de este tipo y su vivienda estuviera asegurada

### 8.2.1. Estimación de la amenaza sísmica

La evaluación de la amenaza sísmica fue realizada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, y se basó en la información actualizada y con el programa CRISIS2007, el cual usa un modelo probabilista que considera las tasas de ocurrencia, características de atenuación y distribución geográfica de los sismos. Adicionalmente se usaron las ecuaciones de atenuación de acuerdo a los tipos de fuentes sísmicas. En la Figura 8.9 se presentan las curvas de las fuentes sísmicas que para el caso de Bogotá se consideran como las de mayor contribución a la amenaza total de la ciudad: Frontal de la Cordillera Oriental Centro, Benioff Intermedia II, Salinas, Benioff Profunda y Subducción Centro. La amenaza sísmica de Bogotá está prácticamente controlada por la actividad de la Falla Frontal (EIRD 2001).

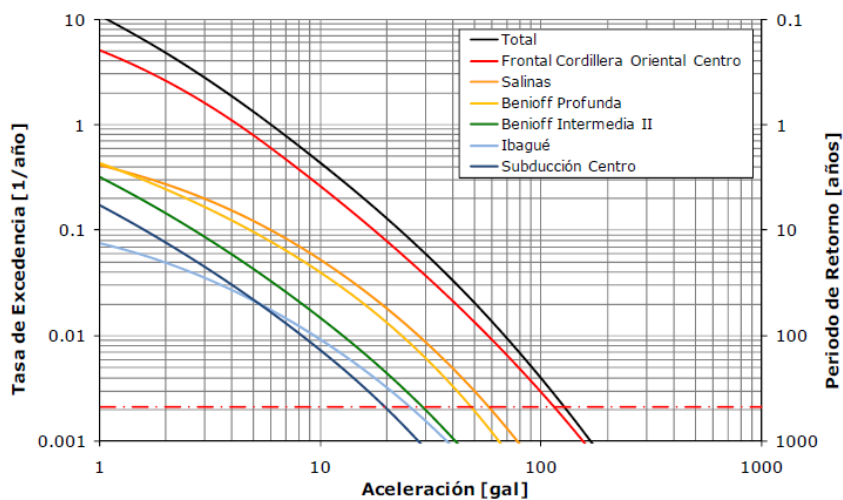
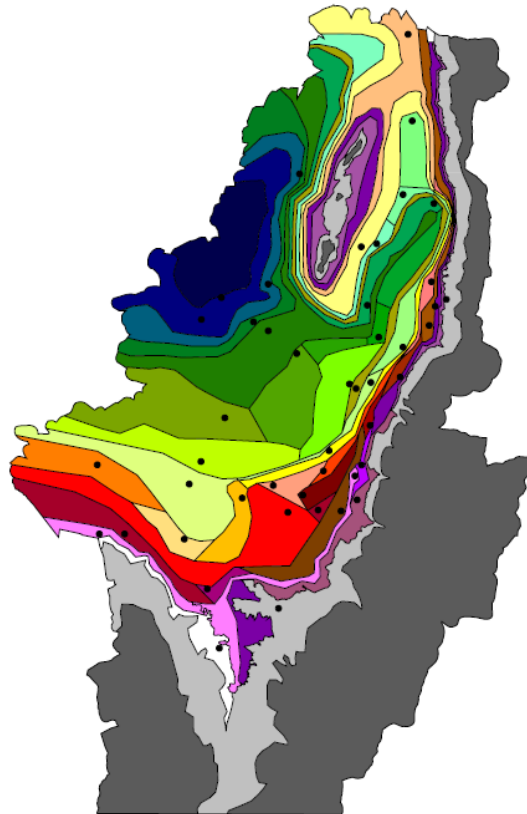


Figura 8.9. Tasas de excedencia en roca para Bogotá, Colombia

La ciudad de Bogotá se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia. Los efectos de amplificación de las ondas sísmicas debido a las características del subsuelo y a la topografía del terreno incrementa la amenaza para la mayoría de los sectores de la ciudad. La información geotécnica de la ciudad con la que se cuenta es la referente a las exploraciones de suelos con fines de evaluación de respuesta dinámica local para proyectos de construcción y de rehabilitación de infraestructura (Benson 1997c; Benson 1997b). Por otro lado, la información de profundidad de basamento rocoso, períodos dominantes de los depósitos del suelo y amenaza en general a nivel de

superficie son el resultado del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (Benson 1997a; Albala-Bertrand 1993). Las zonas de respuesta dinámica uniforme empleadas para caracterizar los suelos de la ciudad son las recomendadas en Kunreuther *et al.* 2005 (Figura 8.10), donde cada polígono está caracterizado por una función de transferencia no lineal. Cada polígono se define a partir de la profundidad del depósito de suelo blando, zonificación geológica, rigidez del depósito, y respuesta dinámica.



**Figura 8.10.** Zonificación sísmica por efectos locales y puntos de control

### 8.2.2. Exposición

La base de datos necesaria para el análisis del riesgo sísmico para Bogotá se basó en la información disponible suministrada por la oficina de Catastro Distrital y la Oficina de Impuestos de la Secretaría Distrital de Hacienda, la cual se obtuvo por medio de la Oficina de Análisis y Control de Riesgos (Tabla 8.7).

**Tabla 8.7.** Información suministrada – Base de datos catastral

<b>Información General</b>		<b>Clasificación de la Construcción</b>
Uso	Destino económico	Avance construcción
Estrato	Dirección	Armazón estructura
Fecha construcción	Área terreno	Muros estructura
Número de pisos	Valor m2 terreno	Cubierta estructura
Código de sector	Área construida	Conservación
Chip	Valor m2 construcción	
Código ZHF	Avalúo total	
Cedula catastral	Tipo predio	
Matricula inmobiliaria		

La base de datos de exposición de las edificaciones privadas de Bogotá para el cálculo del riesgo sísmico se constituyó con variables representativas para el proyecto como: valor asegurado<sup>8</sup>, estrato socio-económico, fecha de construcción, número de pisos, sistema estructural y localización. Para el análisis se obtuvieron, después de realizar una depuración de los campos mencionados, un número real de edificaciones de la base de datos de 866.915 inmuebles<sup>9</sup>.

Con base en la información suministrada se conformó la base de datos de edificaciones privadas de la ciudad con las características que se señalan en la Tabla 8.8.

### 8.2.3. Vulnerabilidad de los edificios

Las curvas de vulnerabilidad consideradas en el modelo utilizan la distorsión de piso o la deriva de la edificación y la aceleración máxima como parámetros claves para calificar el nivel de daño esperado ante la acción sísmica correspondiente. Para la ciudad de Bogotá se consideraron las mismas curvas de vulnerabilidad definidas para la ciudad de Manizales (aparte 8.1) las cuales son las definidas en CEDERI 2002).

<sup>8</sup> Considerando que el valor catastral es un valor legal y que ha sido aplicado en el pasado para el esquema de aseguramiento colectivo, se establece como el valor asegurado para esta evaluación. Esto implica que las pérdidas reales generadas están limitadas al valor catastral. Para este estudio, el valor catastral es considerado como un límite de responsabilidad de primer riesgo.

<sup>9</sup> Los registros que pertenecen a un mismo predio, que conforman o pertenecen a una propiedad horizontal o que son mejoras localizadas en un mismo predio se agruparon utilizando el código del sector.

**Tabla 8.8.** Resumen de características principales de la base de datos de las edificaciones privadas de Bogotá

Sector	No. Edificaciones		Valor Asegurable	
	[unid]	[%]	[MDP]	[%]
<b>Residencial</b>	746,124	86.1%	\$ 46,184,579.6	68.0%
<b>Comercial</b>	22,229	2.6%	\$ 7,454,923.3	11.0%
<b>Industrial</b>	19,617	2.3%	\$ 3,721,714.2	5.5%
<b>Institucional</b>	10,629	1.2%	\$ 4,231,974.9	6.2%
<b>Educación</b>	3,427	0.4%	\$ 1,067,760.8	1.6%
<b>Salud</b>	190	0.0%	\$ 281,788.3	0.4%
<b>Otros</b>	64,699	7.5%	\$ 4,959,728.0	7.3%
<b>Total</b>	<b>866,915</b>	<b>100.0%</b>	<b>\$ 67,902,469.2</b>	<b>100.0%</b>

#### 8.2.4. Evaluación de daños y pérdidas

Para la ciudad de Bogotá se realizaron evaluaciones para el portafolio total de edificaciones privadas, que incluye edificaciones residenciales, comerciales, industriales, institucionales, de educación, salud y otros (Tabla 8.9), donde se obtuvieron resultados como la prima promedio del riesgo al millar y la pérdida máxima probable para diferentes periodos de retorno para diferentes porcentajes de retención (deducibles).

A continuación se presentan los resultados para el portafolio de edificaciones residenciales, el cual se efectuó para efectos de los análisis del aseguramiento con subsidio cruzado o compensación que es uno de los objetivos de esta tesis. Por lo tanto se consideraron tres subgrupos del portafolio residencial: (i) portafolio de bienes privados residenciales, (ii) portafolio de predios exentos del impuesto predial, por tratarse de los inmuebles de personas de bajos ingresos y (iii) el portafolio de los que podrían llegar a pagar un seguro voluntario u obligatorio. Las edificaciones residenciales corresponden aproximadamente al 86% del número total de edificaciones y al 68% del valor asegurable del portafolio total.

Los resultados del análisis de riesgo de las edificaciones residenciales de la ciudad se presentan en la Tabla 8.9. Se incluyen el número de predios analizados, el valor asegurable total (en millones de pesos [MDP]), la prima promedio del riesgo al millar, la pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno de análisis.

De los resultados se puede deducir que en conjunto todas las edificaciones residenciales de la ciudad presentan una vulnerabilidad sísmica significativa dado que los valores de la PML son del orden del 11% (Valor del PML de 1000 años de período de retorno con un deducible del 3%). Los valores de la PML son útiles para acordar el diseño final de la estrategia financiera. La PML se utiliza como valor límite de cobertura hasta donde el asegurador decida eventualmente participar.

Con respecto al deducible, se consideraron diferentes porcentajes de retención, dado que el efecto del deducible es muy importante para la negociación del seguro y reaseguro pues en caso de ser un valor alto reduciría de manera significativa el valor de la prima de riesgo en una fracción importante con respecto a la pérdida total real que se presente. El deducible le corresponde cubrirlo a cada propietario asegurado, excepto en el caso de los propietarios de bajos recursos, en donde la ciudad financiaría

directamente este valor con recursos propios o mediante un mecanismo de financiación para el cubrimiento de dicho valor. La Tabla 8.10 presenta los valores de la prima para los diferentes deducibles considerados (0%, 3% y 5%), manteniendo todos los demás parámetros de análisis.

**Tabla 8.9.** Primas y PML para las edificaciones residenciales de Bogotá

VALORES DE REFERENCIA						
Registros analizados		746,124				
Retención	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Deducible	0%	3%	5%	5%	5%	5%
VALOR ASEGURABLE						
[MDP]	\$ 46,184,580	\$ 46,184,580	\$ 46,184,580	\$ 46,184,580	\$ 46,184,580	\$ 46,184,580
PRIMAS PURAS						
[MDP]	\$ 176,839	\$ 108,107	\$ 85,362	\$ 85,362	\$ 85,362	\$ 85,362
[‰ Aseg]	3.83‰	2.34‰	1.85‰	1.85‰	1.85‰	1.85‰
PERDIDA MÁXIMA PROBABLE -PML						
Periodo retorno	Pérdida	% Valor Asegurable	Pérdida	% Valor Asegurable	Pérdida	% Valor Asegurable
años	[MDP]		[MDP]		[MDP]	
250	\$ 3,930,437	8.51%	\$ 3,139,710	6.80%	\$ 2,733,339	5.92%
500	\$ 4,968,521	10.76%	\$ 4,085,640	8.85%	\$ 3,612,749	7.82%
1000	\$ 5,976,153	12.94%	\$ 5,032,112	10.90%	\$ 4,509,258	9.76%
1500	\$ 6,544,084	14.17%	\$ 5,575,815	12.07%	\$ 5,030,505	10.89%

Como se puede observar en la tabla, el valor de la prima disminuye considerablemente en la medida que el deducible se incrementa. Esto significa, como está claro en el mercado de seguros, que las capas inferiores, que corresponden a las de mayor probabilidad de ocurrencia, son las que representan los mayores valores de prima. Igualmente se puede observar la disminución del valor de la PML cuando el deducible aumenta.

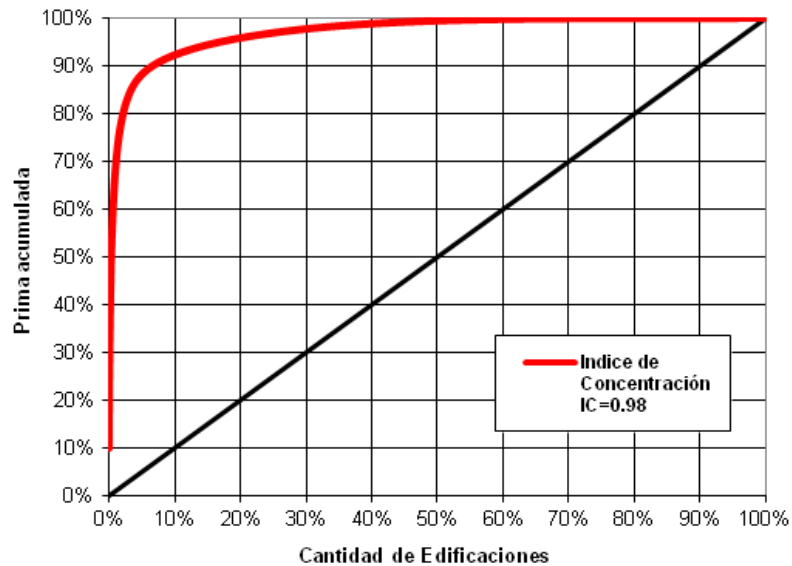
**Tabla 8.10.** Efectos del deducible en el valor de la prima y el PML para edificaciones residenciales

Deducible [%]	Deducible [MDP]	Prima Pura [‰]	Prima Pura [MDP]	PML 1500 [%]	PML 1500 [MDP]
0%	\$ 0	3.8 ‰	\$ 176,839.0	14.2%	\$ 6,544,084
3%	\$ 1,385,537	2.3 ‰	\$ 108,106.9	12.1%	\$ 5,575,815
5%	\$ 2,309,229	1.8 ‰	\$ 85,361.6	10.9%	\$ 5,030,505

Adicionalmente en la Figura 8.10 se presenta la curva de concentración del riesgo del portafolio que presenta los valores acumulados de prima de los inmuebles ordenados de mayor a menor prima. De la curva se obtiene el índice de concentración del riesgo que varía de 0 a 1 y que en este caso es de 0.98; es decir que muy pocos inmuebles concentran la mayor parte del riesgo. Para el caso de Bogotá el 2% de los predios (aproximadamente unos 20.000) acumulan del orden del 80% de las primas de riesgo. Es decir que en el portafolio de la ciudad de Bogotá, existe un amplio número de riesgos “buenos”, cuyas primas son muy bajas comparadas con la prima promedio (o

prima *blanket*) dada la baja demanda sísmica que estas edificaciones pueden sufrir o porque han sido construidas recientemente bajo los parámetros de las normas sismorresistentes existentes.

Esto favorece el poder tratar de establecer pólizas conjuntas en las cuales riesgos “malos” se compensen con riesgos “buenos” de manera que se logren unas condiciones de negociación global atractivas tanto para los aseguradores como para los asegurados.



**Figura 8.11.** Curva de concentración del portafolio

Posteriormente se obtuvieron los resultados para las edificaciones residenciales exentas del impuesto predial (de valor menor o igual a \$8.351.000 en 2008), para las edificaciones residenciales de los estratos 1 y 2, para el grupo de no-exentos (de valor mayor a \$8.351.000 en 2008) y de los estratos 3, 4, 5 y 6. En la Tabla 8.11, Tabla 8.12, Tabla 8.13, Tabla 8.14 se presentan los resultados del análisis.

**Tabla 8.11.** Primas y PML para edificaciones exentas

VALORES DE REFERENCIA				
Registros analizados		136,678		
Retención	100%	100%		
Deducible	0%	3%		
VALOR ASEGURABLE				
[MDP]	\$ 657,384	\$ 657,384		
PRIMAS PURAS				
[MDP]	\$ 982	\$ 682		
[%o Aseg]	1.49‰	1.04‰		
PERDIDA MÁXIMA PROBABLE -PML				
Periodo retorno	Pérdida	% Valor Asegurable	Pérdida	% Valor Asegurable
años	[MDP]		[MDP]	
250	\$ 41,786	6.36%	\$ 33,916	5.16%
500	\$ 58,160	8.85%	\$ 49,033	7.46%
1000	\$ 75,094	11.42%	\$ 65,067	9.90%
1500	\$ 84,682	12.88%	\$ 74,233	11.29%

El grupo de edificaciones exentas (de valor menor o igual a \$8.351,000 en 2008) representa el 18% del número total de edificaciones y el 1.4% del valor asegurable total. Tiene una prima relativamente baja con respecto a todo el portafolio, que corresponde a \$682 millones de pesos (1 al millar de su propio valor asegurable). De forma similar, el grupo de edificaciones excluidas<sup>10</sup> representa cerca del 7% del número total de edificaciones y el 0.3% del valor asegurable total con una prima de 215 millones de pesos (1.39‰).

**Tabla 8.12.** Primas y PML para edificaciones de estratos 1 y 2

VALORES DE REFERENCIA				
Registros analizados		432,131		
Retención	100%	100%		
Deducible	0%	3%		
VALOR ASEGURABLE				
[MDP]	\$ 8,166,398	\$ 8,166,398		
PRIMAS PURAS				
[MDP]	\$ 15,002	\$ 9,899		
[%o Aseg]	1.84‰	1.21‰		
PERDIDA MÁXIMA PROBABLE -PML				
Periodo retorno	Pérdida	% Valor Asegurable	Pérdida	% Valor Asegurable
años	[MDP]		[MDP]	
250	\$ 609,905	7.47%	\$ 486,084	5.95%
500	\$ 825,681	10.11%	\$ 684,361	8.38%
1000	\$ 1,047,177	12.82%	\$ 894,085	10.95%
1500	\$ 1,172,944	14.36%	\$ 1,014,780	12.43%

<sup>10</sup> No se incluyen en el análisis dado que en la base de datos suministrada existen predios de uso residencial definidos como de estrato 0 que impiden conocer el número real de predios excluidos.

El grupo de edificaciones de los estratos 1 y 2 representa el 58% del número total de edificaciones y el 18% del valor asegurable total. Tiene una prima que corresponde a \$9,900 millones de pesos (1.21‰ de su propio valor asegurable).

**Tabla 8.13.** Primas y PML para edificaciones no exentas

VALORES DE REFERENCIA				
Registros analizados		609,446		
Retención	100%	100%		
Deducible	0%	3%		
VALOR ASEGURABLE				
[MDP]	\$ 45,527,196	\$ 45,527,196		
PRIMAS PURAS				
[MDP]	\$ 175,857	\$ 98,208		
[‰ Aseg]	3.86‰	2.16‰		
PERDIDA MÁXIMA PROBABLE -PML				
Periodo retorno	Pérdida	% Valor Asegurable	Pérdida	% Valor Asegurable
años	[MDP]		[MDP]	
250	\$ 3,891,201	8.55%	\$ 3,108,114	6.83%
500	\$ 4,914,513	10.79%	\$ 4,040,731	8.88%
1000	\$ 5,907,542	12.98%	\$ 4,973,620	10.92%
1500	\$ 6,467,082	14.20%	\$ 5,509,416	12.10%

El grupo de edificaciones no exentas (de valor mayor a \$8'351,000 en 2008) representa el 81.7% del número total de edificaciones y el 98.6% del valor asegurable total. Tiene una prima que corresponde a \$107,425 millones de pesos (2.36‰ de su propio valor asegurable)

**Tabla 8.14.** Primas y PML para edificaciones de estratos 3, 4, 5 y 6

VALORES DE REFERENCIA				
Registros analizados		313,993		
Retención	100%	100%		
Deducible	0%	3%		
VALOR ASEGURABLE				
[MDP]	\$ 38,018,181	\$ 38,018,181		
PRIMAS PURAS				
[MDP]	\$ 161,837	\$ 98,208		
[‰ Aseg]	4.26‰	2.58‰		
PERDIDA MÁXIMA PROBABLE -PML				
Periodo retorno	Pérdida	% Valor Asegurable	Pérdida	% Valor Asegurable
años	[MDP]		[MDP]	
250	\$ 3,362,716	8.85%	\$ 2,692,027	7.08%
500	\$ 4,193,697	11.03%	\$ 3,452,569	9.08%
1000	\$ 5,002,442	13.16%	\$ 4,213,829	11.08%
1500	\$ 5,459,042	14.36%	\$ 4,651,845	12.24%



El grupo de edificaciones de los estratos 3, 4, 5 y 6 representa el 42,1% del número total de edificaciones y el 82,3% del valor asegurable total. Tiene una prima que corresponde a \$98.208 millones de pesos (2,58‰ de su propio valor asegurable).

Dado que el valor de la prima para los inmuebles exentos no es muy alta, y teniendo en cuenta que en los estratos 1 y 2, y en algunos casos en el estrato 3, pueden existir construcciones que podrían ser objeto de subsidio por su muy baja capacidad de pago a pesar de que su valor catastral sea superior a \$8.351.000, para evaluar la posibilidad de incluir en la compensación o subsidio cruzado propietarios con baja capacidad de pago, se consideraron edificaciones cuyo valor catastral es menor o igual a 15 y 20 millones de pesos como susceptibles de compensación o subsidio.

### **8.2.5. Estimación de primas considerando compensación o subsidio**

Los análisis de portafolios separados permiten estimar los valores de las primas promedios de cada uno de ellos y explorar la posibilidad de que un portafolio o una fracción del mismo cubran el costo del seguro de los propietarios con menores recursos. Igualmente esto permitiría estimar el valor de la prima que pueda ser objeto de subsidio del Estado o una combinación de compensación y subsidio. Para el análisis de compensación o subsidio se debe diferenciar dos grupos del portafolio: (i) edificaciones susceptibles de compensación o subsidio y (ii) edificaciones aportantes para la compensación.

Para el caso del grupo de edificaciones susceptibles de subsidio se realizaron análisis del grupo de edificaciones exentas del impuesto predial y de las edificaciones de los estratos 1, 2 y 3 con valor asegurable menor o igual a \$15 y \$20 millones de pesos. Para el caso de las edificaciones aportantes se consideraron dos esquemas diferentes de aseguramiento: (i) participación de todos los aportantes, equivalente a un seguro obligatorio y (ii) seguro voluntario.

En la Tabla 8.15 se presentan los valores de las primas que se requerirían para cubrir los exentos y los dos límites considerados (\$15 y \$20 MDP) en caso de que se contara con la participación de todos los predios no exentos del impuesto predial, es decir, en caso de que se implementara el aseguramiento obligatorio.

Con relación a los esquemas de aseguramiento voluntario, en la Tabla 8.16 se presentan los diferentes escenarios hipotéticos de participación de edificaciones de los diferentes estratos socioeconómicos considerados, de acuerdo al estudio de mercado para Bogotá. En la Tabla 8.17 y Tabla 8.18 se presentan los resultados obtenidos con base en los porcentajes de participación y en los límites considerados (\$15 y \$20 MDP).

**Tabla 8.15.** Variación del valor subsidiado y primas de los aportantes respecto del valor asegurable subsidiado

Límite subsidiado		Exentos	<15 MDP	<20 MDP
<b>Subsidiado</b>				
Edificaciones		136.678	271.995	360.369
Asegurable	[MDP]	\$ 657.384	\$ 2.192.428	\$ 3.739.318
Prima	[MDP]	\$ 682	\$ 2.456	\$ 4.208
	[‰]	1.04	1.12	1.13
<b>Aportantes</b>				
Edificaciones		609.446	474.129	385.755
Asegurable	[MDP]	\$ 45.527.196	\$ 43.992.151	\$ 42.445.262
Prima	[MDP]	\$ 107.425	\$ 105.651	\$ 103.899
	[‰]	2,36	2,4	2,45
Prima + Subsidio	[MDP]	\$ 108.107	\$ 108.107	\$ 108.107
	[‰]	2,37	2,46	2,55

**Tabla 8.16.** Escenarios de participación diferencial por estratos y tipos de beneficiario

Escenario No.	Esquema	Estrato Subsidio	Límite Subsidio	PARTICIPACIÓN RELATIVA DE ESTRATO					
				1	2	3	4	5	6
1	Estudio mercado Bogotá	1, 2 y 3	<\$15.000.000	37%	37%	28%	21%	16%	16%
2			<\$20.000.000	37%	37%	28%	21%	16%	16%

**Tabla 8.17.** Primas según estratos y valor porcentual frente al predial para subsidiar los inmuebles con valor menor o igual 15 MDP con participación diferencial (Esquema estudio de mercado)

Subsidio E1, 2 y 3 < 15 MDP		Tasas		Valores x c/u 10MDP		Aumento
Estrato	Límite	Impuesto	Prima	Impuesto	Impuesto + Prima	Impuesto + Prima
1 y 2	< \$ 8.351.000					
	< \$ 55.021.000	2.0 ‰	0.78 ‰	\$ 20.000	\$ 27.827	39.1%
	> \$ 55.021.000	6.0 ‰	2.34 ‰	\$ 60.000	\$ 83.480	39.1%
3	< \$ 29.107.000	4.0 ‰	1.57 ‰	\$ 40.000	\$ 55.653	39.1%
	> \$ 29.107.000	6.0 ‰	2.35 ‰	\$ 60.000	\$ 83.480	39.1%
4	< \$ 69.635.000	6.0 ‰	2.35 ‰	\$ 60.000	\$ 83.480	39.1%
	> \$ 69.635.000	7.5 ‰	2.93 ‰	\$ 75.000	\$ 104.350	39.1%
5 y 6	< \$ 184.465.000	7.0 ‰	2.74 ‰	\$ 70.000	\$ 97.393	39.1%
	> \$ 184.465.000	9.5 ‰	3.72 ‰	\$ 95.000	\$ 132.176	39.1%

Grupo	Asegurable	Prima		No Edif
Aportantes	\$ 10.589.402	\$ 23.471	2.22‰	142.881
Subsidiada	\$ 2.192.428	\$ 2.456	1.12‰	271.995
<b>Total</b>	\$ 12.781.831	\$ 25.927	2.45‰	414.876

De acuerdo a los resultados de la tabla, para el subsidio de inmuebles con avalúo catastral inferior a \$15 MDP, se tiene un valor asegurado de \$2,2 BDP y una prima de \$2,456 MDP, con la participación por estratos citada se obtiene una prima promedio de

2,45%. En este escenario el aumento de la tasa del impuesto predial sería del 39% como se puede observar en la Tabla 7.19.

**Tabla 8.18.** Primas según estratos y valor porcentual frente al predial para subsidiar los inmuebles con valor menor o igual 20 MDP con participación diferencial (Esquema estudio de mercado)

Subsidio E1, 2 y 3 < 20 MDP		Tasas		Valores x c/u 10MDP		Aumento
Estrato	Limite	Impuesto	Prima	Impuesto	Impuesto + Prima	Impuesto + Prima
1 y 2	< \$ 8.351.000					
	< \$ 55.021.000	2.0 ‰	0.83 ‰	\$ 20.000	\$ 28.337	41.7%
	> \$ 55.021.000	6.0 ‰	2.50 ‰	\$ 60.000	\$ 85.011	41.7%
3	< \$ 29.107.000	4.0 ‰	1.67 ‰	\$ 40.000	\$ 56.674	41.7%
	> \$ 29.107.000	6.0 ‰	2.50 ‰	\$ 60.000	\$ 85.011	41.7%
4	< \$ 69.635.000	6.0 ‰	2.50 ‰	\$ 60.000	\$ 85.011	41.7%
	> \$ 69.635.000	7.5 ‰	3.13 ‰	\$ 75.000	\$ 106.264	41.7%
5 y 6	< \$ 184.465.000	7.0 ‰	2.92 ‰	\$ 70.000	\$ 99.180	41.7%
	> \$ 184.465.000	9.5 ‰	3.96 ‰	\$ 95.000	\$ 134.601	41.7%

Grupo	Asegurable	Prima		No Edif
Aportantes	\$ 10.065.758	\$ 22.866	2.27‰	112.953
Subsidiada	\$ 3.739.318	\$ 4.208	1.13‰	360.369
<b>Total</b>	<b>\$ 13.805.076</b>	<b>\$ 27.074</b>	<b>2.69‰</b>	<b>473.322</b>

En cuanto al análisis para el subsidio de inmuebles con avalúo catastral inferior a \$20 MDP, se obtiene un valor asegurado de \$3,7 BDP y una prima de \$4,208 MDP, con la participación por estratos citada se obtiene una prima promedio de 2,69%. El aumento de la tasa del impuesto en este caso representaría el 42%.

En los análisis mencionados previamente se puede observar que la variación de la prima para los aportantes no varía significativamente cuando se incluye la prima para el subsidio de los propietarios de bajos ingresos. Especialmente para el escenario del aseguramiento obligatorio y el límite de \$15 MDP y para el escenario del aseguramiento voluntario, con la participación basada en el estudio de mercado y para el límite de subsidio de \$15 MDP, mientras que para los escenarios del límite de subsidio de \$20 MDP, la prima de los aportantes es más significativa. Dado que el seguro obligatorio es una alternativa poco viable en el momento, además que podría considerarse como una medida impopular porque podría verse como un nuevo impuesto, lo que podría significar un inconveniente político, la mejor alternativa sería el aseguramiento voluntario mediante la suscripción de una póliza única de aseguramiento utilizando el seguro convencional, en el cual se acuerde un subsidio cruzado o compensación que permita cubrir a un segmento importante de los propietarios de bajos ingresos.

Adicional a estas alternativas, se podrían incluir otra serie de escenarios u opciones de transferencia del riesgo como:

Seguro voluntario con compensación y subsidio directo y parcial del gobierno.

Seguro voluntario con compensación, subsidio y con la participación de los bienes fiscales.

Si la ciudad decidiera incluir el grupo de edificaciones públicas dentro del programa de aseguramiento colectivo de inmuebles privados o si decidiera pagar la prima de los exentos, las primas para los aportantes se podrían disminuir dependiendo de la prima con la que participe el Distrito Capital y los aportantes privados. Sin embargo la implementación de un seguro voluntario incluyendo las edificaciones públicas de la ciudad significa un proceso intenso de divulgación que permita dar claridad e ilustración de sus beneficios dado que podría tener fuertes críticas o detractores.

### **8.3. Modelización probabilista del riesgo de Barcelona**

El análisis del riesgo de Barcelona se llevó a cabo usando la plataforma CAPRA (ver Capítulo 6). Su estimación se basó en la información disponible de la amenaza sísmica de la región y en la información catastral proporcionada por la administración de la ciudad. El objetivo del cálculo del riesgo para Barcelona consistió en obtener pérdidas máximas probables (curva de excedencia de pérdidas) y primas puras de riesgo (pérdida anual esperada) para el portafolio y para cada edificio de la ciudad respectivamente., para usarlos como insumos para el cálculo de la evaluación holística del riesgo. Igualmente, los resultados del análisis pueden ser útiles para orientar la gestión del riesgo en la ciudad, los resultados son relevantes para dar un orden de magnitud de las pérdidas que se podrían generar por desastres extremos y por lo tanto para una formulación de protección financiera. Adicionalmente se obtuvieron escenarios de daño potencial como insumo para el desarrollo de planes de respuesta a emergencias.

#### **8.3.1. Estimación de la amenaza sísmica**

Para la estimación de la amenaza sísmica en Barcelona, se consideran las fuentes sísmicas de la región de Cataluña (Secanell *et al.* 2004). En la Figura 8.12 se presenta las tasas de excedencia de la amenaza para Barcelona. Los efectos de la atenuación de las ondas sísmicas mediante leyes probabilistas de atenuación espectral que incluye diferentes tipos de fuentes y para diferentes zonas (Ambraseys *et al.* 1996). Los efectos de sitio incluidos para considerar la amplificación de los parámetros de amenaza sísmica de acuerdo a la caracterización geológica de Barcelona fueron los definidos por Cid *et al.* (2001) en donde se caracterizaron las funciones de transferencia y los factores de amplificación para el nivel de aceleración en roca en cada zona. Las zonas de Barcelona corresponden a 4 tipos: Zona I, depósitos del Holoceno que incluyen básicamente arenas, limos, cantos rodados y materia orgánica; Zona II, los depósitos del Pleistoceno que están compuestos de arcillas, limos, gravas y costras calcáreas; Zona III, los materiales del Paleozoico que son principalmente granitos, pizarras, calizas, intercalaciones de cuarcitas, areniscas y rocas metamórficas y la Zona R que corresponde a roca. En la Figura 8.13 se presenta la distribución de las zonas en Barcelona.

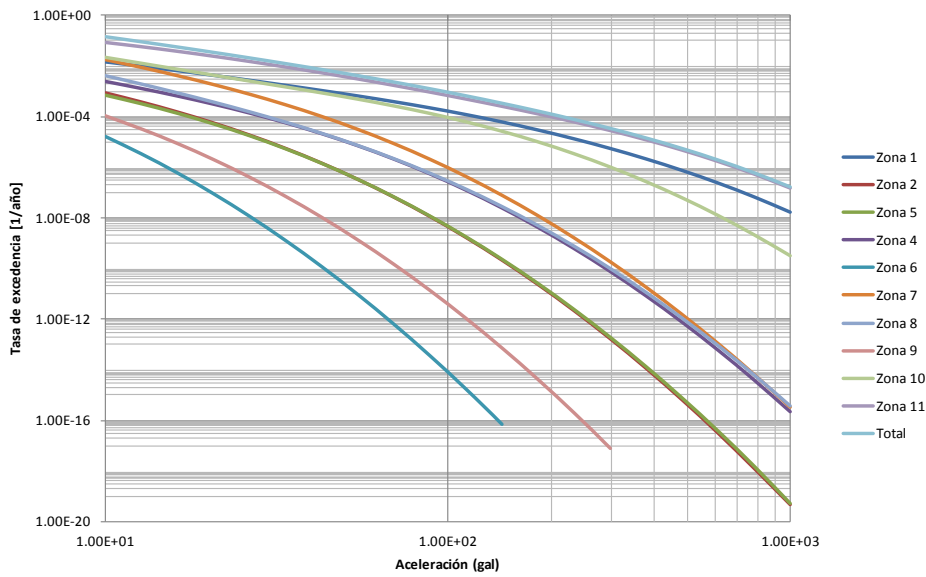


Figura 8.12. Tasas de excedencia para Barcelona

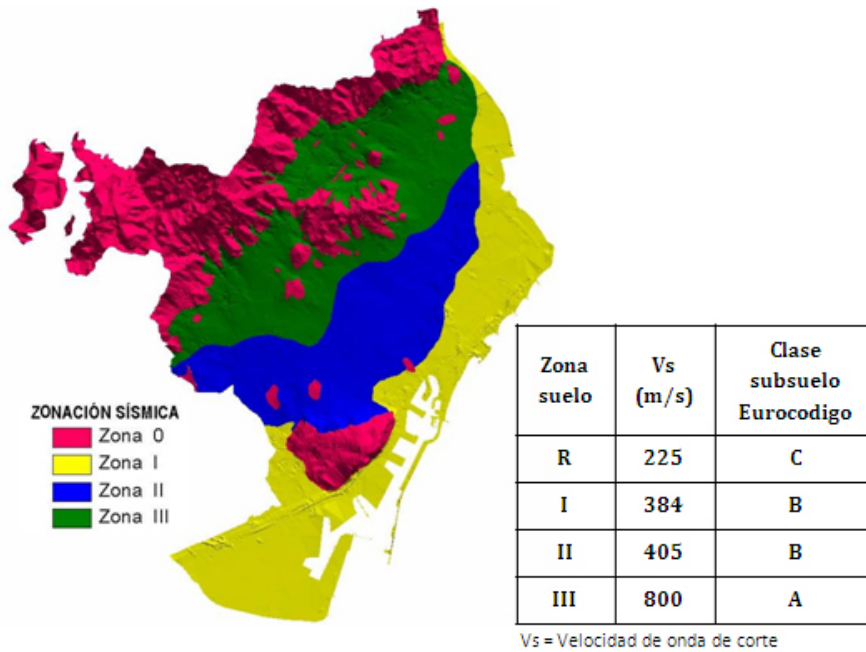


Figura 8.13. Zonificación sísmica basada en los efectos locales (Cid et al. 2001)

La amenaza sísmica fue evaluada empleando el sistema CRISIS 2007 (Ordaz et al. 2007). El sistema permite la estimación de la amenaza asociando todos los eventos factibles que podrían ocurrir, o a un grupo de eventos seleccionados, o incluso un solo

evento relevante. Mediante el uso del modelo es posible calcular el valor máximo probable de la intensidad y caracterizarla para diferentes tasas de excedencia o periodos de retorno. Dicho programa corresponde al módulo de amenaza sísmica del CAPRA que genera un archivo de formato tipo AME (.ame de amenaza) en el cual se incluyen múltiples mallas o retículas sobre el área de estudio de los diferentes parámetros de intensidad sísmica. Cada malla es un escenario del nivel de intensidad alcanzado por eventos históricos o eventos generados en forma estocástica con sus respectivas frecuencias de ocurrencia. En total se generaron en total 2058 escenarios de amenaza sísmica para Barcelona. Para este análisis, el parámetro de intensidad sísmica seleccionado es la aceleración espectral.

### **8.3.2. Exposición**

La información utilizada para el módulo de exposición ha sido la base de datos depurada de Lantada (2007), la cual incluye información, fundamentalmente del Instituto Municipal de Informática de Barcelona, pero incluye también información de diferentes instituciones públicas y privadas y universidades de Barcelona. Esta base de datos se complementó con información del valor económico de los elementos expuestos suministrado por la oficina de Catastro de Barcelona. El número de edificaciones válidas para el estudio sísmico fueron 70.655, distribuidos en 10 distritos municipales (Figura 8.14), 73 barrios, 233 Áreas Estadísticas Básicas (AEB) y 1061 secciones censales. Los resultados del análisis del riesgo se realizan predio por predio, sin embargo los mapas se ilustran a nivel de AEB, Barrio y Distrito. Los datos mínimos con los que se debía contar para cada una de las edificaciones de la base de datos para llevar a cabo el análisis de riesgo son la localización geográfica, el año de construcción, número de pisos, tipo estructural, valor económico y ocupación.

Por otro lado, para calcular el impacto social, se estimó la información general relacionada con la ocupación de cada edificación. La ocupación máxima y el porcentaje de ocupación a diferentes horas también se definieron para diferentes escenarios de la ocurrencia del evento. En los casos en los que no se contaba con información específica de la ocupación del edificio se optó por usar la densidad de ocupación aproximada por estructural para completa dicha información.

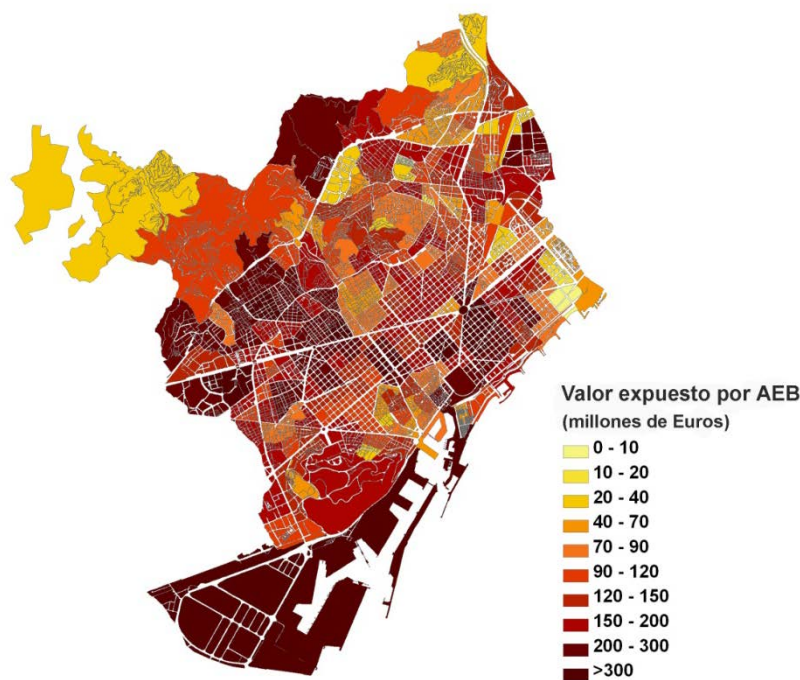


Figura 8.14. Valor expuesto de las AEBs de Barcelona

### 8.3.3. Vulnerabilidad de los edificios

El acelerado crecimiento poblacional en Barcelona durante el siglo XIX y dada la limitación en el crecimiento urbano por la existencia de las murallas, se presentó un desarrollo vertical de la ciudad, es decir los edificios aumentaron en altura y por consiguiente la densidad poblacional aumentó, como proyecto urbanístico, las murallas se derivan a mediados del siglo XIX para permitir la construcción de una ciudad menos densa y con un mayor orden en las edificaciones. No obstante, en el siglo XX, a principios de los años 60, debido al impulso económico de la ciudad, se presentó una expansión urbana acelerada con importantes falencias estructurales. Dado que en Barcelona no contaba con una cultura del riesgo sísmico por las pocas experiencias al respecto, la construcción de estos edificios de la ciudad no cuenta con ninguna consideración sísmica. La combinación de estas características, con la alta densidad de población y la gran actividad de la ciudad pueden exacerbar el riesgo bajo eventos sísmicos, incluso moderados. Sólo a partir de la implementación de códigos de diseño sismorresistente, la primera normativa legal aparece en el año 1962 (Dodo *et al.* 2004) y actualmente se encuentra vigente la normativa del Ministerio de Fomento (NCSE-02 2002) que es una actualización de la norma de 1994 (DFID 2006), se comienza a mejorar el desempeño de las edificaciones de la ciudad. Los parámetros de cada edificación son tenidos en cuenta para la asignación de la función de vulnerabilidad (como se mencionó en la exposición). En los resultados del análisis se puede ver

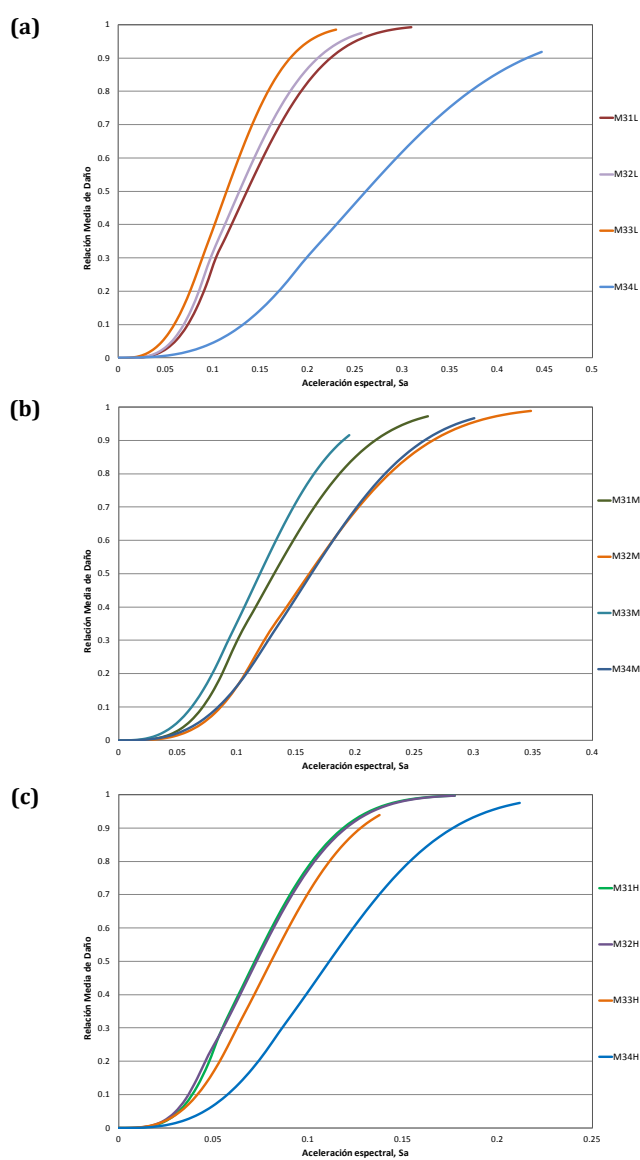
reflejada la mayor vulnerabilidad en las áreas más antiguas y en las áreas donde las normas sismorresistentes no se han tenido en cuenta.

Las funciones de vulnerabilidad de cada edificio se definieron usando el módulo de vulnerabilidad de la plataforma CAPRA. Las funciones se generan en términos de aceleración espectral o en términos de deriva estructural y luego se uniformizan en términos de la aceleración espectral. Cada función de vulnerabilidad corresponde a una tipología estructural, donde los más predominantes en Barcelona son las de mampostería no reforzada, seguida de las de hormigón armado cuya construcción se ha incrementado rápidamente en las últimas décadas; las estructuras metálicas y de madera son menos utilizadas y usualmente no son de uso residencial sino de uso industrial y otros usos como mercados, centros deportivos, entre otros. En este análisis, las tipologías utilizadas para Barcelona son las definidas en ICC/CIMNE (2004):

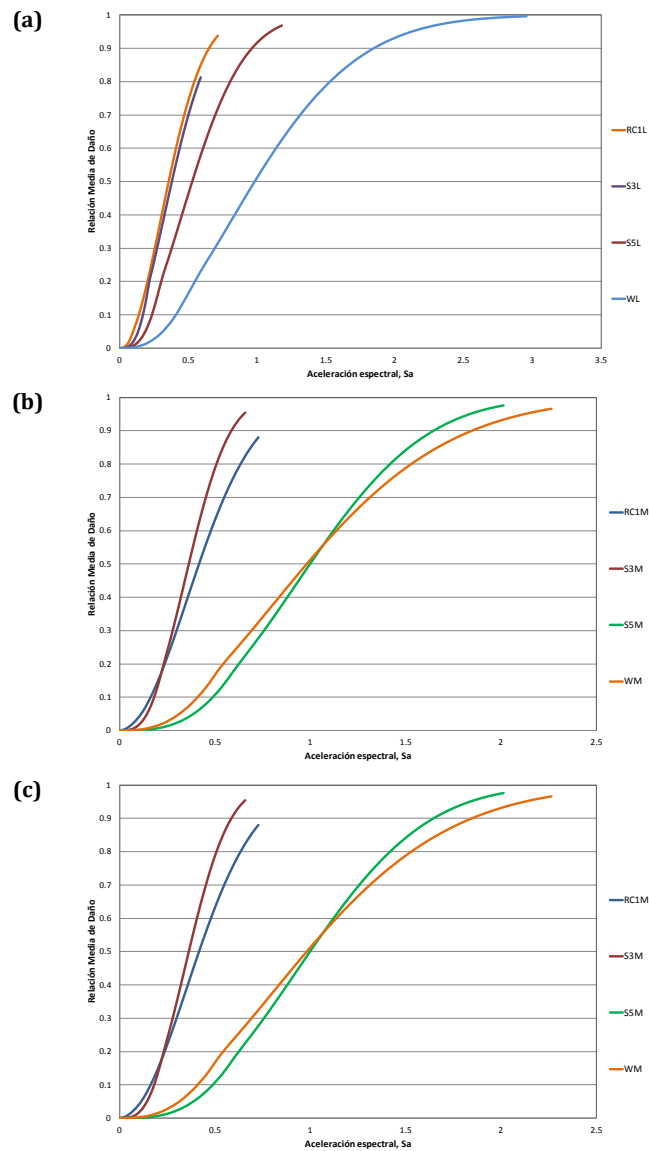
- M3.1: Estructuras de mampostería con forjados de madera.
- M3.2: Estructuras de mampostería con forjados con bóvedas de mampostería.
- M3.3: Estructuras de mampostería con forjados mixtos de acero y mampostería.
- M3.4: Estructuras de mampostería con forjados de losas de hormigón.
- RC.1: Estructuras de hormigón armado irregulares con muros de relleno
- S1: Estructuras de acero
- S3: Estructuras metálicas con relleno de mampostería
- S5: Sistemas compuestos de metal y hormigón armado
- W: Estructuras de madera
- Y cada una de estas tipologías se encuentra subdividida en 3 clases:
- Altura baja, L: de 1 a 2 plantas para las estructuras de mampostería y las de madera y de 1 a 3 plantas para edificios de hormigón armado y con estructuras de metal.
- Altura media, M: de 3 a 5 plantas para las estructuras de mampostería y las de madera y de 4 a 7 plantas para edificios de hormigón armado y estructuras de metal.
- Altura alta, H: con 6 o más plantas para las estructuras de mampostería y las de madera y con 8 o más plantas para edificios de hormigón armado y estructuras de metal.

En la Figura 8.15 se presentan las funciones de vulnerabilidad usadas para las edificaciones de mampostería simple y la Figura 8.16 presenta las funciones para las otras tipologías, para edificaciones bajas, medias y altas. Estas funciones relacionan la severidad del evento, representada por la aceleración espectral, con el daño medio del edificio.





**Figura 8.15.** Funciones de vulnerabilidad para edificaciones de mampostería de altura: (a) baja, (b) media y (c) alta



**Figura 8.16.** Funciones de vulnerabilidad para edificios de concreto reforzado, acero y madera. de altura: (a) baja, (b) media y (c) alta

Con relación a las funciones de vulnerabilidad humana, éstas se estiman con base en el cálculo del riesgo sísmico de cada estructura, por lo tanto, se tiene en cuenta la intensidad sísmica y las características de vulnerabilidad estructural. Una vez se estima el riesgo, éste se puede asociar a una cierta probabilidad de colapso. Para la estimación de la vulnerabilidad humana se debe contar con el número de habitantes en cada edificación, a partir de esta cifra y de acuerdo con el sistema estructura se considera el número de atrapados que tendría el edificio, es decir, el porcentaje de ocupantes del

edificio que quedan atrapados (este factor depende del tipo estructural). De acuerdo al número de atrapados se considera un porcentaje de víctimas y de heridos para cada edificación. Para definir el porcentaje de personas atrapadas se han considerado estudios realizados basados en terremotos ocurridos.

### 8.3.4. Evaluación de daños y pérdidas

Para la estimación de las pérdidas del portafolio de edificaciones de Barcelona se utilizó la plataforma CAPRA, la cual permite la evaluación probabilista de pérdidas de los elementos expuestos usando métricas probabilistas, tales como las curva de excedencia de pérdidas, la pérdida anual esperada y la pérdida máxima probable que son útiles para los análisis de riesgo. Los resultados que se obtienen con este modelo son útiles para facilitar la toma de decisiones. Para el diseño de una estrategia de retención y transferencia del riesgo, tal como se describió anteriormente para Manizales y para Bogotá, es necesario el uso de modelos más detallados como el RN. Sin embargo, los resultados obtenidos para Barcelona con el CAPRA son útiles para dar un orden de magnitud del riesgo que tiene la ciudad ante eventos sísmicos como también para realizar evaluaciones de costo-beneficio de las estrategias de mitigación del riesgo, para el ordenamiento territorial o para generar escenarios de pérdidas por terremoto para la respuesta a emergencia, por otro lado, los valores obtenidos son usados para la estimación holística del riesgo utilizando indicadores.

Con base en la amenaza probabilista y en el inventario de activos expuesto y sus correspondientes curvas de vulnerabilidad se llevó a cabo el análisis de riesgo probabilista para la ciudad de Barcelona. La pérdida anual esperada de los elementos físicos, el número de muertos y heridos fueron calculados para cada uno de los predios de la ciudad. Los resultados se presentan en la Tabla 8.19, Tabla 8.20 y Tabla 8.21. Estas tablas presentan el valor expuesto (físico y humano), la pérdida anual esperada en valor económico y al millar, en número de personas y por cada cien mil habitantes y los valores de pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno.

**Tabla 8.19.** Resultados obtenidos para la exposición física

<b>EXPOSICIÓN FÍSICA</b>		
<b>Valor expuesto</b>	€ x10 <sup>6</sup>	31.522.80
<b>Pérdida Anual Esperada</b>	€ x10 <sup>6</sup>	72,14
	‰	2,29‰
<b>PML</b>		
<b>Periodo de retorno</b>	<b>Pérdida</b>	
<b>Años</b>	€x10 <sup>6</sup>	%
<b>50</b>	729.35	2,31%
<b>100</b>	1,770.16	5,62%
<b>250</b>	3,699.35	11,74%
<b>500</b>	5,172.26	16,41%
<b>1,000</b>	6,510.67	20,65%
<b>1,500</b>	7,021.14	22,27%

**Tabla 8.20.** Resultados obtenidos para personas muertas

<b>PERSONAS MUERTAS</b>		
<b>Valor expuesto</b>	Hab	1.639.880
<b>Pérdida anual esperada</b>	Hab	28,7
	‰	0,017‰
<b>PML</b>		
<b>Periodo de retorno</b>	<b>Pérdida</b>	
<b>Años</b>	Hab	%
<b>50</b>	101.41	0,01%
<b>100</b>	654.30	0,04%
<b>250</b>	2.069.97	0,13%
<b>500</b>	3.380.29	0,21%
<b>1,000</b>	4.898.39	0,30%
<b>1,500</b>	5.799.44	0,35%

**Tabla 8.21.** Resultados obtenidos para personas heridas

<b>PERSONAS HERIDAS</b>		
<b>Valor expuesto</b>	Hab	1.639.880
<b>Pérdida anual esperada</b>	Hab	113,55
	‰	0,07‰
<b>PML</b>		
<b>Periodo de retorno</b>	<b>Pérdida</b>	
<b>Años</b>	Hab	%
<b>50</b>	756.92	0,05%
<b>100</b>	3.420.18	0,21%
<b>250</b>	9.028.50	0,55%
<b>500</b>	12.590.98	0,77%
<b>1,000</b>	15.803.45	0,96%
<b>1,500</b>	16.903.45	1,03%

La Figura 8.17 presenta la curva de PML obtenida para Barcelona. La Figura 8.18 presenta la pérdida anual esperada por AEB de Barcelona. Como se mencionó previamente, la pérdida económica anual esperada fue originalmente calculada edificio por edificio. La Figura 8.19 presenta los resultados obtenidos a esta resolución y la Figura 8.20 presenta la pérdida anual esperada para los heridos y muertos por AEB de Barcelona.

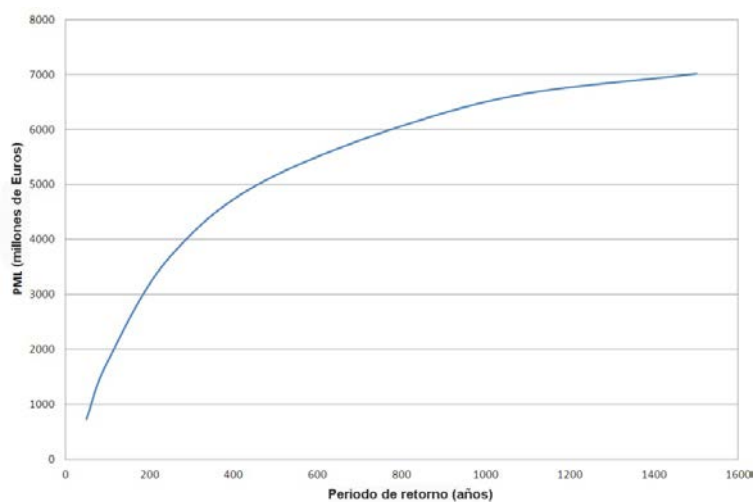


Figura 8.17. Curva de PML para Barcelona

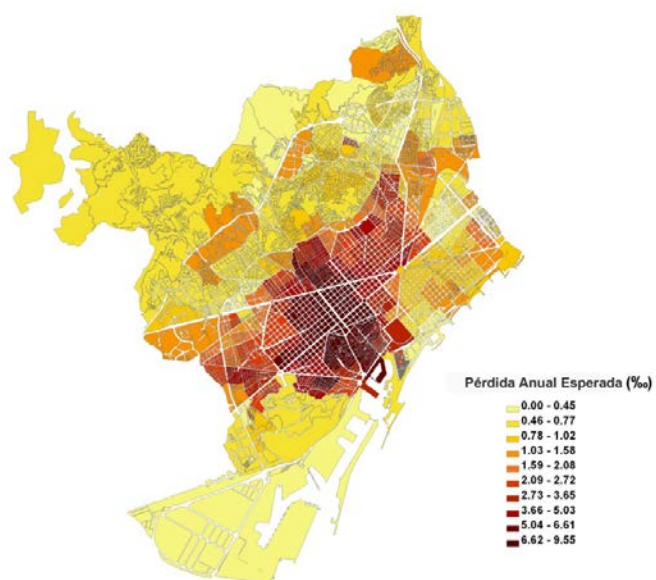


Figura 8.18. Pérdida Anual Esperada por AEB para Barcelona

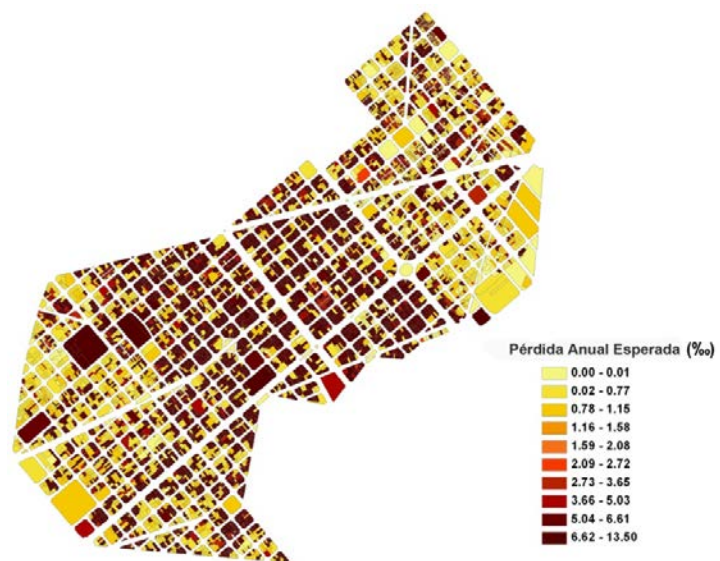
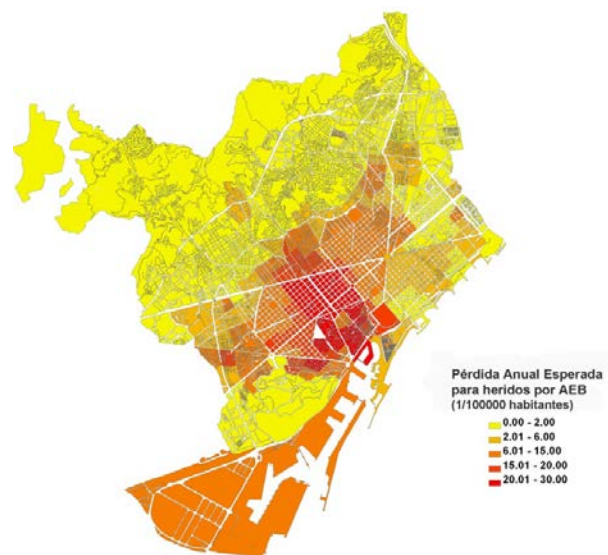
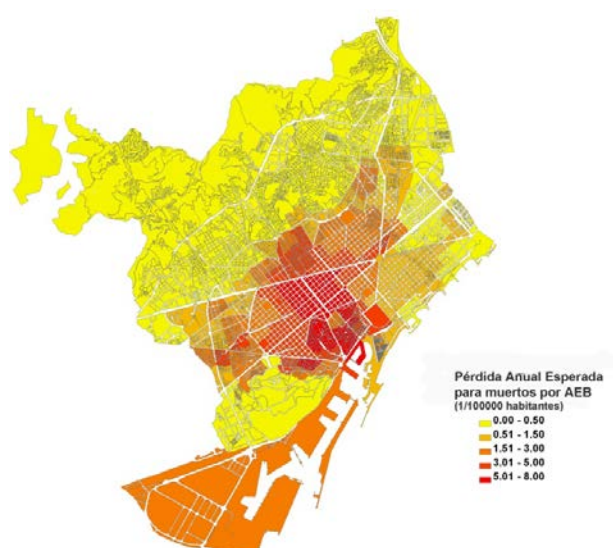


Figura 8.19. Pérdida anual esperada para cada edificación en el Distrito del Eixample en Barcelona

(a)



(b)



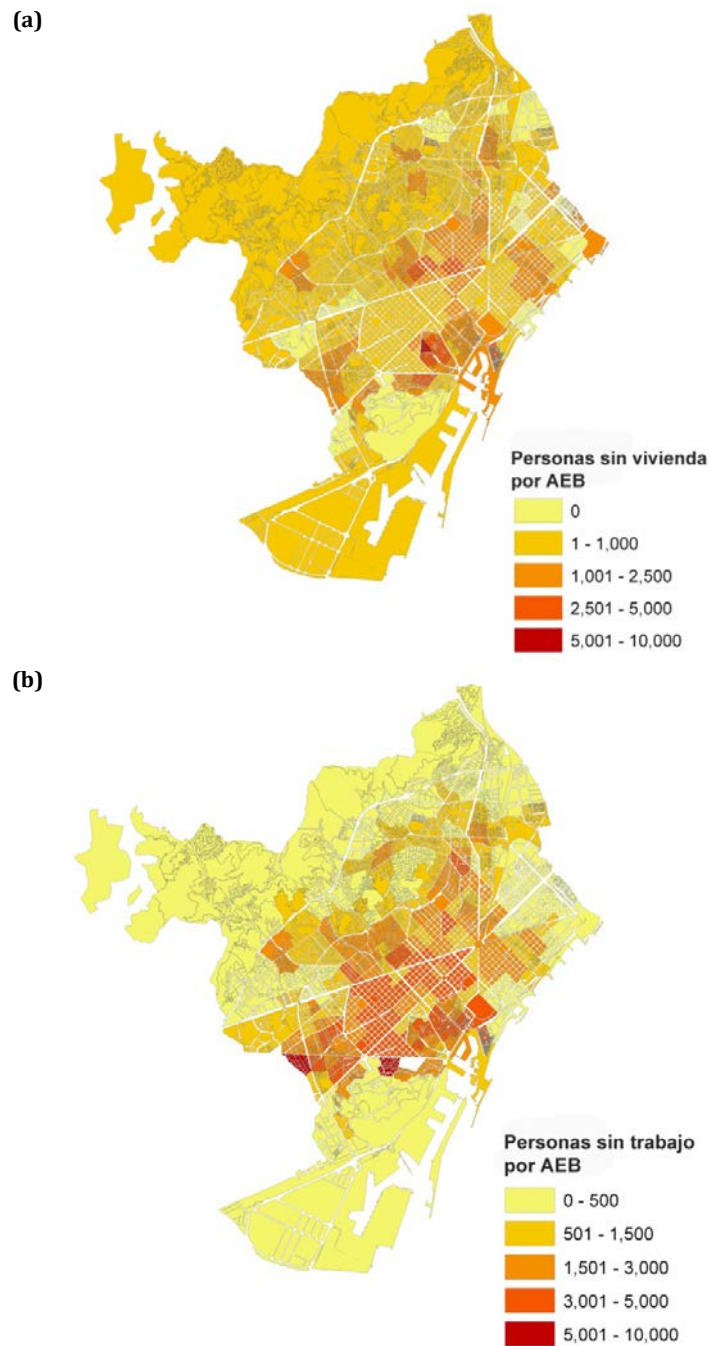
**Figura 8.20.** Pérdida Anual Esperada para (a) heridos y (b) muertos por AEB en Barcelona

Adicional a la estimación de las pérdidas económicas probabilistas es también relevante para los planes de respuesta a emergencias de la ciudad contar con escenarios sísmicos críticos de pérdida. En el caso de Barcelona, se escogió un escenario para una pérdida con un período de retorno de aproximadamente 1000 años, para estimar las personas que podrían perder sus trabajos o sus viviendas. Las estimaciones de estos valores están basadas en el porcentaje de daño en cada estructura (mayor o igual al 20%). La Tabla 8.22 presenta la información del escenario crítico para Barcelona.

**Tabla 8.22.** Información del escenario crítico para Barcelona

Nº	Escenario		Pérdida	
	Fuente	Magnitud	(Euros x 10 <sup>6</sup> )	%
600	Zona 4_SF2	6.56	6.78E+03	21

La Figura 8.21 presenta los resultados gráficos del número de personas sin vivienda y el número de personas sin trabajo por AEB en Barcelona.



**Figura 8.21.** (a) Personas sin vivienda y (b) personas sin trabajo por AEB en Barcelona

Esta información es útil para contrastarla con otras evaluaciones que se han realizado en el pasado pero sobre todo para definir las acciones de respuesta a



emergencias sísmicas y para explorar el desarrollo de una estrategia de protección financiera con el Consorcio de Seguros de España. El terremoto ocurrido en Lorca en 2011 ilustra el alto riesgo que se presenta en ciudades como Barcelona, debido a la falta de conciencia sísmica. El evento en Lorca tuvo una magnitud 5.1 Mw a una profundidad de 5 km, no obstante causó 9 pérdidas de vidas, 300 heridos, 329 unidades de vivienda destruidas, 2033 dañadas. Las pérdidas directas se estiman en US\$ 200 millones de dólares, sin embargo el Consorcio de Seguros reportó indemnizaciones por US\$ 432 millones de dólares. De presentarse un evento mayor las consecuencias serían muy notables, tal como lo ilustran las evaluaciones de riesgo probabilistas que aquí se han presentado.

## Capítulo 9.

### **MODELIZACIÓN DEL RIESGO A NIVEL NACIONAL Y GLOBAL**

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

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

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

A continuación se presenta la evaluación del riesgo catastrófico para el portafolio de inmuebles públicos de Colombia, que son en parte los activos de responsabilidad fiscal del Estado. La metodología probabilista utilizada es considerada la más robusta para este tipo de modelización e identifica los aspectos más importantes del riesgo de catástrofe con fines de protección financiera. Adicionalmente, los resultados del análisis pueden ser de especial utilidad para orientar las prioridades del país en materia de

gestión del riesgo de desastres en general. Los fundamentos metodológicos y técnicos de esta evaluación del riesgo han sido descritos en el Capítulo 6.

### **9.1. Modelización probabilista para el portafolio de inmuebles públicos de Colombia**

De acuerdo a estudios promovidos por la Dirección Nacional de Planeación (DNP), se concluye que en relación con los desastres, la atención a viviendas de bajos estratos (1 y 2) y la protección de la infraestructura pública es una responsabilidad del Estado, por lo tanto se debe contar con recursos o para un fondo o para seguros que permitan cubrir el riesgo fiscal. No se conoce el porcentaje exacto de la cobertura de bienes públicos pero se considera que es menor al 6% a pesar de la obligatoriedad del seguro por ley para el sector público. Este infraseguro se puede presentar principalmente por la falta de información en cuanto al valor asegurable, el valor de la prima, las condiciones de cubrimiento, los deducibles y demás características que permitan considerar un aseguramiento óptimo. Con base en estudios de riesgo se podría superar la ineficiencia en el proceso administrativo y en el aseguramiento además de contar con un planteamiento estratégico donde se pasaría de un mecanismo de aseguramiento por cada entidad nacional independiente a una contratación unificada y masiva por lo que el proceso administrativo se simplificaría y la eficiencia técnica y financiera sería mayor. Sin embargo, para lograr el objetivo del aseguramiento masivo y unificado, es necesario que cada entidad nacional conozca la política del Gobierno Nacional y precisar el procedimiento para difundir la estrategia.

El desarrollo del inventario de inmuebles públicos definido como el “Programa para la gestión eficiente de activos públicos (PROGA), promovido por el DNP (UNDP 2001), permite contar con información general de las construcciones públicas a nivel nacional para realizar análisis de riesgo y negociar con las compañías de seguros el precio de las pólizas para todo el conjunto de edificaciones y de esta manera optimizar la asignación de los recursos públicos a través del uso de mecanismos de transferencia del riesgo. Por lo anterior se realizó la estimación de pérdidas probables por eventos extremos del inventario de inmuebles públicos del gobierno nacional, la determinación de los valores relevantes de pérdida anual esperada para la transferencia del riesgo catastrófico al sector de seguros/reaseguros o el mercado de capitales y la descripción de posibles alternativas de retención y transferencia que el Ministerio de Hacienda y Crédito Público podría considerar para establecer una estrategia de protección financiera frente a los futuros desastres.

El trabajo implicó la conformación de una base de datos apropiada de los inmuebles públicos de propiedad de la Nación para la modelización de las pérdidas, utilizando el PROGA y otra información y estudios disponibles. Por otra parte, implicó la estimación de las pérdidas probables mediante la aplicación de modelos avanzados de cálculo de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad estructural de los inmuebles que constituyen el portafolio y de los parámetros necesarios para determinar los precios de la transferencia de las pérdidas futuras por eventos extremos. Finalmente, se identificaron las alternativas factibles de retención y transferencia disponibles que

permiten definir una estrategia óptima para cubrir las pérdidas que puedan presentarse en el portafolio de inmuebles públicos de la Nación.

La preparación de la base de datos se realizó utilizando la información suministrada por el PROGA y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y complementando con visitas de campo, otras bases de datos disponibles y algoritmos para la inferencia de datos faltantes<sup>1</sup>. En la Tabla 9.1 se presenta el número total de registros y edificaciones (registros agrupados) para la base total definitiva. Y la Tabla 9.2 presenta un resumen de las características principales de la base de datos de los inmuebles públicos del país. El estudio implicó la generación de mapas que ilustraran la distribución espacial de los inmuebles y su ubicación con respecto al área de influencia de futuros fenómenos peligrosos.

**Tabla 9.1.** Registros para la base de datos de inmuebles públicos

Número total de registros:	10.067
Número total de entidades:	140
Número total de registros (terrenos o lotes):	4.537
Número total de registros a evaluar:	5.530
Número total de edificaciones (registros agrupados):	2.388

**Tabla 9.2.** Resumen de características principales de la base de datos de los inmuebles públicos

Región	Inmuebles					
	Edificios		Asegurable		Asegurable + Cont	
	Cantidad	%	[MDP]	%	[MDP]	%
Bogotá y Cundinamarca	763	32,0%	\$1.239.412	40,0%	\$1.549.561	50,0%
Eje cafetero	187	7,8%	\$ 135.399	4,4%	\$ 179.912	5,8%
Tolima	74	3,1%	\$ 46.541	1,5%	\$ 60.119	1,9%
Valle	300	12,6%	\$ 266.096	8,6%	\$ 336.016	10,8%
Cauca y Nariño	126	5,3%	\$ 123.520	4,0%	\$ 139.648	4,5%
Llanos orientales	107	4,5%	\$ 64.555	2,1%	\$ 73.520	2,4%
Boyacá y Santanderes	336	14,1%	\$ 368.147	11,9%	\$ 466.172	15,0%
Costa Atlántica	293	12,3%	\$ 610.449	19,7%	\$ 806.610	26,0%
Antioquia y Chocó	177	7,4%	\$ 205.335	6,6%	\$ 232.222	7,5%
San Andrés y Providencia	25	1,0%	\$ 39.600	1,3%	\$ 46.263	1,5%
<b>Total</b>	<b>2.388</b>		<b>\$3.099.053</b>		<b>\$3.890.042</b>	

El portafolio constituido con un total de 5.530 registros que corresponden a 2.388 edificaciones tienen un valor asegurable total de edificaciones de 3.1 billones de pesos (BDP), valor asegurable total de contenidos de 0.8 BDP para un valor total asegurable de 3.9 BDP (correspondientes a USD 1550 millones de dólares en edificaciones, USD 395 millones en contenidos y un total asegurable de USD 1950 millones). Estos valores no incluyen el valor del terreno y están dados en cifras del

<sup>1</sup> Dicho algoritmo tiene como base información previa de validaciones y estudios existentes obtenida de parámetros típicos de inmuebles en las diferentes ciudades y de información general sobre tamaño y valoración de construcciones de acuerdo con índices relativos a los costos de la construcción en el país.

2007. Los valores de los contenidos se han estimado igualmente con base en información estadística disponible y las clasificaciones de uso para cada edificación.

En lo relacionado a la amenaza sísmica, el modelo incluyó 34 fuentes como potenciales generadoras de sismos (AIS-300 1996). Se usaron leyes de atenuación espectrales con diferentes parámetros de atenuación de acuerdo a cada periodo de vibración considerado. Las leyes de atenuación para Colombia fueron deducidas en Gallego y Ordaz (2000) y están basadas en el cálculo de espectros fuentes y los valores extremos hallados mediante teoría de vibraciones aleatorias. Asimismo se consideró la microzonificación sísmica de las ciudades que contaban con estos estudios.

La Tabla 9.3 presenta un resumen de resultados del análisis de riesgo realizado sobre toda la base de datos de edificaciones de la Nación. Se incluyen el valor asegurable total, la pérdida máxima probable para diferentes periodos de retorno de análisis y la pérdida anual esperada que corresponde a la prima pura promedio de riesgo al millar. La Tabla presenta los resultados en millones de pesos (MDP) y en porcentaje respecto de los valores asegurables.

**Tabla 9.3. Resultados del análisis de riesgo sísmico para inmuebles nacionales**  
*Análisis incluyendo contenidos*

<b>Valores de referencia</b>						
Retención (%)	100		100		100	
Deducible (%)	0		3		5	
<b>Valor asegurable</b>						
[MDP]	3.890.042		3.389.042		3.890.042	
<b>Primas puras</b>						
[MDP]	10.287,00		6.271		5.114	
(‰ Aseg)	2,64		1,61		1,31	
<b>Pérdida Máxima Probable-PML</b>						
Periodo de retorno	Pérdida	Valor aseg	Pérdida	Valor aseg	Pérdida	Valor aseg
años	[MDP]	%	[MDP]	%	[MDP]	%
250	172.881	4,44	141.321	3,63	125.429	3,22
500	218.296	5,61	183.165	4,71	164.730	4,23
1000	261.774	6,73	224.279	5,77	204.043	5,25
1500	285.976	7,35	247.502	6,36	226.469	5,82

Los valores de prima pura de referencia para el valor asegurable total incluyendo los contenidos son del orden de 1.3‰ a 2.64‰ dependiendo del tipo de deducible que se establezca. Como puede apreciarse, el deducible es una variable de gran impacto en el valor final de primas resultantes. El deducible representa una de las variables definitivas a la hora de definir el valor de la prima. En general y desde el punto de vista comercial, el deducible que se utiliza normalmente para terremoto es del 3%. Con este parámetro como referencia la prima pura de riesgo estaría alrededor de 1.6 al millar.

Los valores de la PML no aumentan considerablemente a medida que se disminuye el deducible. Por ejemplo, se puede apreciar que para un período de retorno de 1000 años, la PML para el tomador de riesgo pasa de 204 mil MDP a 262 mil MDP al pasar de un deducible del 5% a un deducible del 0% (i.e. en caso de que no haya retención del riesgo por parte de la Nación).

Por otro lado, como resultado de un análisis de concentración del riesgo se estimó que el 5% de los predios públicos más críticos de la Nación (aproximadamente unos 120) acumulan del orden del 85% de las primas puras de riesgo. Este conjunto de edificaciones corresponde a la base para plantear una estrategia a largo plazo para mitigación del riesgo sísmico de las edificaciones públicas del orden Nacional. La Figura 9.1 presenta la curva de concentración de riesgos del portafolio.

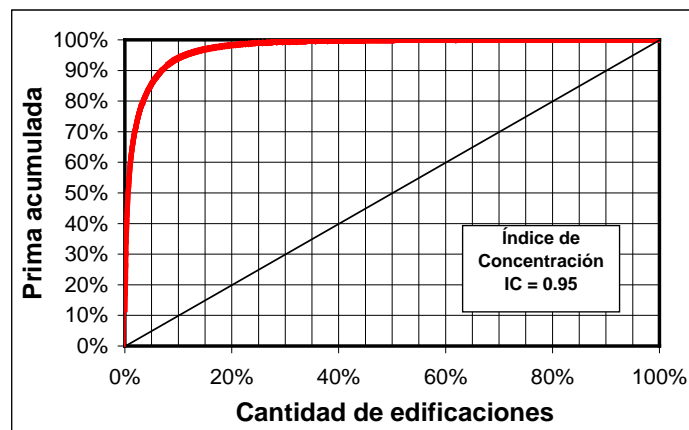


Figura 9.1. Curva de concentración del portafolio

Adicionalmente, se detectó que no hay un beneficio importante en establecer un valor límite para la pérdida, en las condiciones de negociación de una póliza de seguros, dado que la diferencia entre el valor de la prima para la capa y la necesaria para tener un cubrimiento total no es muy significativa. Por ejemplo para obtener una reducción en la prima pura total del orden del 20%, sería necesario definir un límite máximo inferior al 2% del valor asegurable total, lo cual no sería conveniente. Por esta razón se recomienda un límite máximo equivalente a un valor relativamente conservador de la PML o sea una pérdida máxima para un período de retorno en el orden de los 1000 o 1500 años, considerando incluso un valor adicional en relación a la incertidumbre en la información disponible.

Con el objeto de abordar el problema desde el punto de vista de sector asegurador se realizó un análisis por zonas cresta o cúmulos (Tabla 9.4), evaluando las primas puras de riesgo y la PML por cúmulos. Las zonas CRESTA muestran la distribución del portafolio en las diferentes ciudades del país ubicados en varias de estas zonas, logrando la diversificación deseada del riesgo. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 9.5.

**Tabla 9.4. Zonas CRESTA en Colombia**

Zona 1	Cundinamarca y Bogotá
Zona 2	Risaralda, Caldas y Quindío
Zona 4	Valle del cauca
Zona 8	Costa Atlántica
Zona 9	Antioquia y Chocó

Se analizaron los casos más relevantes. El primero corresponde al caso en el cual el portafolio de edificaciones públicas no se incluye dentro de una cartera de una compañía de seguros con algún grado de diversificación en el territorio colombiano, y por lo tanto se considera para efectos de la negociación, que la cartera de la compañía está en las diferentes zonas CRESTA que se utilizan convencionalmente. Por otra parte el análisis se realiza con base en los tres parámetros principales que regulan el costo de primas en el ramo de terremoto: la reserva de desviación catastrófica del 40% sobre las primas retenidas, la obligatoriedad de contratación de protección catastrófica de la cartera neta retenida de acuerdo con un valor de la PML del 15% y el patrimonio técnico máximo del 10% que se puede comprometer dentro de la estructura de transferencia de riesgo.

**Tabla 9.5. Resultados de análisis por zonas CRESTA**

<b>Resultados por zona CRESTA</b>										
Deducible (%)		3								
Zona	1	2	4	8	9					
<b>Valor asegurable</b>										
[MDP]	1.549.561	179.934	336.016	852.873	232.222					
<b>Prima Pura Total</b>										
[MDP]	3.103	372	715	102	172					
[‰]	2,00	2,07	2,13	0,12	0,74					
<b>Pérdida Máxima Probable - PML</b>										
Periodo de retorno	Pérdida	Valor aseg	Pérdida	Valor aseg	Pérdida	Valor aseg	Pérdida	Valor aseg	Pérdida	Valor aseg
años	[MDP]	%	[MDP]	%	[MDP]	%	[MDP]	%	[MDP]	%
250	113.497	7,32	13.719	7,62	31.489	9,37	5.832	0,68	6.786	2,92
500	156.756	10,12	21.609	12,01	42.058	12,52	9.483	1,11	9.613	4,14
1000	198.690	12,82	31.701	17,62	52.949	15,76	14.385	1,69	12.985	5,59
1500	222.055	14,33	38.547	21,42	59.446	17,69	18.157	2,13	15.192	6,54

Para un análisis adecuado de la estrategia óptima resulta fundamental entender la distribución real del portafolio tanto desde el punto de vista de los grupos de uso como desde el punto de vista de los valores asegurables. Con base en el perfil de los valores en riesgo es posible simular las diferentes opciones de cobertura con base en los precios de referencia del mercado reasegurador del momento y las condiciones de suscripción. Sobre esta base se pueden determinar los resultados que soporten la estrategia de transferencia con el mercado asegurador. En el presente caso, por el tamaño del cúmulo, es fundamental contar con el aval del mercado reasegurador en relación con los valores en riesgo, el nivel de exposición y la necesidad real de

capacidad, con el fin de determinar cuál es la estrategia y la estructura de transferencia que mejor se adapta.

Se analizaron tres alternativas para el aseguramiento de los inmuebles públicos: (i) mecanismos convencionales de seguros y reaseguros, (ii) transferencia a través de una cautiva y (iii) posibles fondos de catástrofe. La mejor alternativa de las tres analizadas en la propuesta técnica es el aseguramiento de portafolio de inmuebles públicos mediante una póliza única con una aseguradora o unión temporal de aseguradoras que aseguren incendio y transfieran el riesgo catastrófico por cualquier tipo de siniestro de origen natural a reaseguradoras a través de una cautiva *off-shore* del Gobierno Nacional.

Los análisis indican que la estructura conveniente y factible de retención y transferencia sería la que ilustra la Figura 9.2.

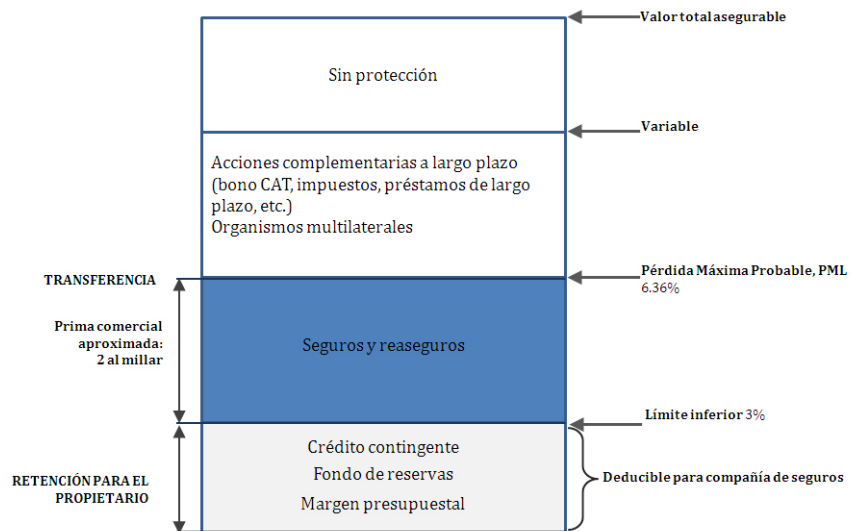


Figura 9.2. Estructura de retención y transferencia de riesgos

La segunda mejor alternativa considerada es la del aseguramiento convencional mediante una póliza única, en la cual podría suscribirse con una o varias aseguradoras en una unión temporal, asimismo, la prima pura del riesgo podría ser favorable. Esta alternativa es menos eficiente que la alternativa de la cautiva pero desde el punto de vista legal es menos exigente y tiene menos implicaciones desde la perspectiva operativa.

La implementación de la estrategia de transferencia de riesgo podría hacerse por etapas. De poderse obviar alguna de ellas, es deseable implementar la etapa siguiente. Sin embargo, es posible que sea necesario en términos institucionales y políticos y de acuerdo al proceso de difusión ir implementando las etapas paulatinamente. Las etapas a las que se hace referencia son las siguientes:



1. Estimar los valores de la primas por entidad o Ministerio según el conjunto los inmuebles que les corresponde y recomendar el aseguramiento bajo una póliza técnicamente apropiada que suscriba cada entidad o Ministerio mediante un proceso de contratación individual. Cerciorarse que las pólizas se puedan cancelar en cualquier momento unilateralmente por parte de las entidades, con el fin de acordar en un momento dado el aseguramiento masivo de todo el portafolio de edificaciones.
2. Realizar una sola negociación del seguro de todos los inmuebles de la Nación mediante la suscripción de una póliza única de aseguramiento, diseñada en las mejores condiciones técnicas y económicas utilizando el seguro convencional.
3. Realizar el proceso de diseño y constitución de una cautiva off-shore y llevar a cabo todo el proceso de la fase anterior y determinar la obligatoriedad para la aseguradora, consorcio o unión temporal de aseguradoras de tomar reaseguro con la cautiva, con el fin de elevar la eficiencia financiera del mecanismo de seguros y reaseguros, logrando mejores condiciones de reaseguro y la conformación de reservas del Gobierno Nacional con el mismo objeto de protección financiera.

Actualmente la emisión de un Bono CAT no parece elevar la eficiencia financiera debido al tamaño del portafolio de inmuebles. No obstante, no se descarta que con el pasar de los años este instrumento pueda cada vez ser más competitivo y factible. Por esta razón, aunque no se propone como una etapa adicional, es importante siempre tenerlo en cuenta en el futuro para cuando se considere pertinente como una opción o alternativa complementaria.

Dado que, como se mencionó en el Capítulo 2, los desastres representan un pasivo contingente para los gobiernos, estos pueden gestionar su pasivo contingente fortaleciendo el aseguramiento, y, para lograr esto, en síntesis, es necesario evaluar el riesgo, estimar el costo fiscal potencial y fijar reservas obligatorias adicionales, diseñar adecuadamente a fin de reducir al mínimo el riesgo, presupuestar, contabilizar y dar a conocer el riesgo, vigilar los factores de riesgo y la suficiencia de las reservas y finalmente comparar y declarar el costo fiscal efectivo frente a las estimaciones, evaluar los resultados y castigar el incumplimiento (Polackova 1999).

El diseño de un instrumento de transferencia y retención de pérdidas implica obtener los valores totales de pérdidas y de primas que permitan tener un referente bien soportado de los estudios de riesgo con base en información detallada tanto de la amenaza por fenómenos naturales como de los datos de exposición y vulnerabilidad de cada portafolio. Cuando no existen estudios previos de protección financiera se refleja claramente la ineficiencia y los perjuicios que se derivan de un proceso de aseguramiento disperso, sin unos criterios adecuados de negociación y sin el aprovechamiento que surge al contratar el seguro de un portafolio frente a contratar cada uno de sus componentes por separado de acuerdo con los fundamentos de la transferencia del riesgo. Por lo cual, desde la perspectiva gubernamental, es necesario superar la ineficiencia administrativa e intentar pasar de un mecanismo individual de contratación de seguros a un mecanismo unificado y masivo en el cual el proceso administrativo de contratación se simplifique y se logre una mayor eficiencia técnica y financiera.

Las entidades encargadas de ejecutar el proceso de implementación de una estrategia de protección financiera deben tener la competencia institucional y los conocimientos sobre las fuentes de información financiera para su apropiada interpretación, de manera que se pueda lograr un criterio uniforme e idóneo de negociación que garantice los mejores resultados y el desarrollo del proceso en una forma flexible y oportuna. Para lograr una implementación satisfactoria es necesario precisar un procedimiento de comunicación y difusión de esta política mediante un instructivo donde se plantee la estrategia, explicando cómo se estiman los costos de la cobertura que le correspondería asumir a cada entidad de su presupuesto según los inmuebles que están a su cargo y explicar los diferentes beneficios que subyacen la estrategia con el fin de sensibilizar a los directivos acerca de la importancia y eficiencia del mecanismo que se desea adoptar.

El concepto fundamental que debe considerarse para definir el alcance del seguro corresponde a las condiciones de los seguros en relación con las retenciones o los límites, los cuales conforman los instrumentos primarios del asegurador para limitar su participación en las pérdidas a una figura financieramente factible. Al respecto, hay dos efectos decisivos. En primer lugar, se reduce la suma a pagar por los desastres, y, en segundo lugar, mediante las retenciones, se limitan los gastos administrativos de la gestión del siniestro, al no tener que tramitar pequeños siniestros irrelevantes. De este modo, puede reducirse la prima que ha de abonar el tomador del seguro, y en algunos mercados se hace asequible a todo el mundo una cobertura de seguro limitada.

## **9.2. Evaluación del Índice de Déficit por Desastre para la región LAC**

En 2005 el BID creó el Sistema de Indicadores de Gestión de Riesgos para las Américas, con el fin de contribuir a hacer manifiesto el riesgo de desastres y hacer notar la necesidad, a diversos actores e interesados, de proponer no solamente estrategias *ex ante* de prevención y mitigación sino también de retención y transferencia del riesgo y no esperar hasta que los desastres se presenten para tomar decisiones. Este sistema fue desarrollado por el Zimmer *et al.* (2005) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales y su objetivo fue medir el riesgo y la gestión del riesgo de los países utilizando indicadores y un enfoque holístico (Cardona *et al.* 2005a; Cardona 2009; FEMA 1997a; Carreño 2006). Dentro de las diferentes familias de indicadores de este programa se propuso el Índice de Déficit por Desastre, que es un indicador que da cuenta de la vulnerabilidad fiscal que se deriva de los desastres extremos factibles en cada país (Applied Technology Council 1996; Cardona *et al.* 2008d; Cardona *et al.* 2010c; Marulanda *et al.* 2008b).

El IDD, como se explicó en el Capítulo 6, refleja el riesgo del país desde una perspectiva macroeconómica y financiera ante eventos catastróficos probables para lo cual es necesario estimar la situación de impacto más crítica en un tiempo de exposición y la capacidad financiera del país para hacer frente a dicha situación. Este índice mide la pérdida económica que un país en particular puede sufrir cuando un

evento catastrófico tiene lugar, y las implicaciones en términos de los recursos necesarios para enfrentar la situación. La construcción del IDD requiere de la evaluación de las pérdidas potenciales, como la PML y la PAE, calculadas con un modelo de evaluación de riesgo (IBC 2000; FEMA 2004; Zimmer *et al.* 2009).

Un  $IDD_{EMC}$  mayor que 1.0 refleja la incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos aún cuando aumente al máximo su deuda. Si existen restricciones para el endeudamiento adicional, esta situación implica la imposibilidad para recuperarse. La Figura 9.3 presenta la clasificación de la mayoría de los países de la región de América Latina y el Caribe utilizando el IDD (FEMA 2004; Zimmer *et al.* 2009; Carreño *et al.* 2007a; FEMA 1997b; Applied Technology Council 1996).

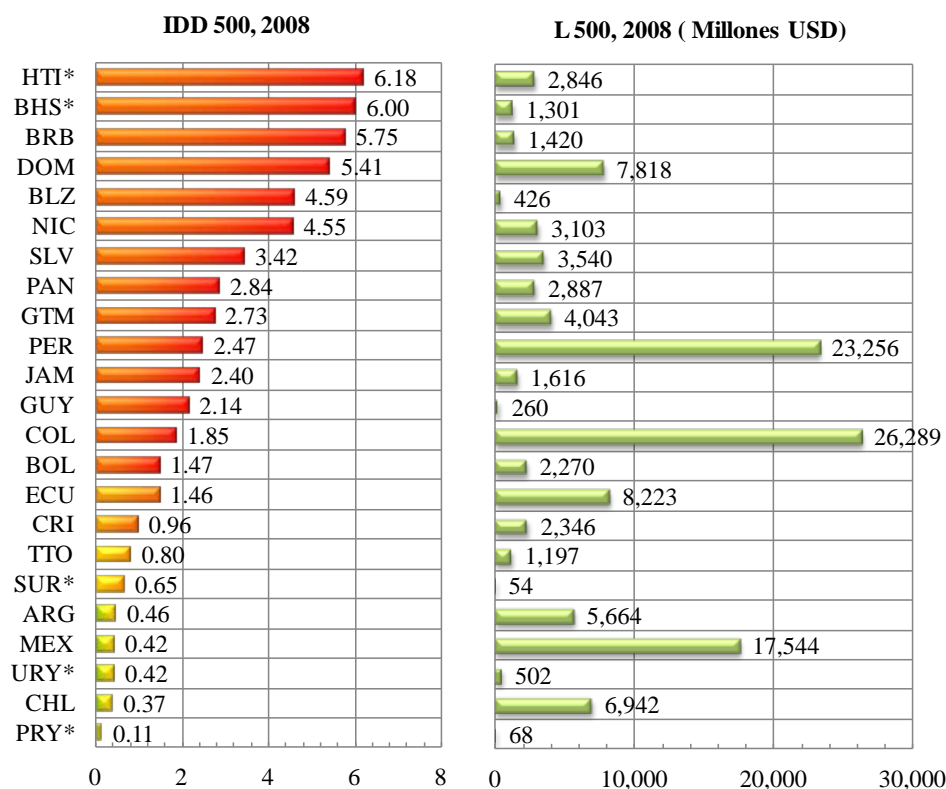


Figura 9.3. IDD y pérdida máxima probable en 500 años de países de las Américas en 2008 y 2010\*

El segundo, el  $DDI_{GC}$ , que captura la porción de los Gastos de Capital del país que corresponde a la pérdida anual esperada o prima pura de riesgo.

El  $DDI_{GC}$  significa qué porcentaje de la inversión sería el pago anual por desastres futuros. En este caso el valor de la prima pura es equivalente a la inversión o ahorro promedio anual que tendría que hacer el país para cubrir aproximadamente sus pérdidas por desastres futuros. La Figura 9.4 presenta el IDD' de la mayoría de países de América Latina y el Caribe.

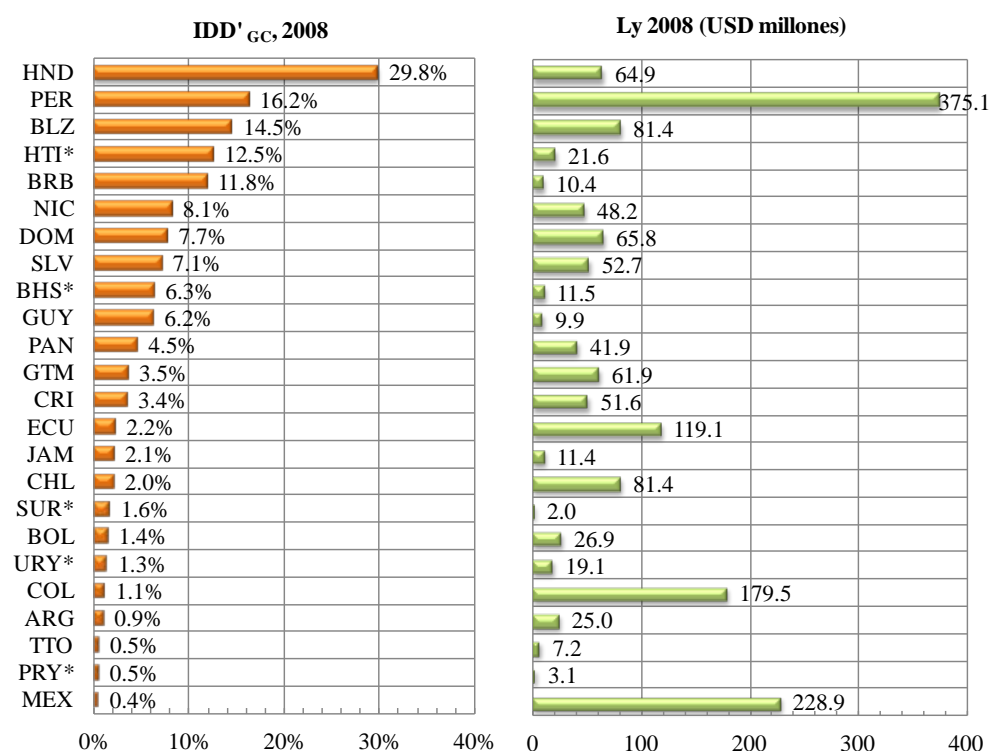


Figura 9.4. IDD' por gastos de capital y prima pura de riesgo para diferentes países de las Américas a 2008 y 2010\*\*

En general, el IDD ha contribuido a lograr en los Ministerios de Hacienda o Finanzas tengan mayor conciencia de la importancia que tiene el estimar los desastres futuros como pasivos contingentes de los gobiernos y de los bancos centrales. Como resultado del uso de este indicador varios países han incluido en sus análisis fiscales los pasivos contingentes con el fin de entender y contextualizar los riesgos fiscales a los que está expuesta cada nación.

La utilización de este tipo de índices se ha llevado a cabo usando modelos aproximados utilizando supuestos conservadores que dan un orden de magnitud del déficit que podría tener cada país a causa de desastres catastróficos. Ahora bien, para la construcción de un modelo financiero que permita definir las estrategias óptimas a seguir para manejar y gestionar el riesgo de desastre es necesario tener información más detallada y confiable sobre las pérdidas probables. Establecidos los rangos de las pérdidas y sus respectivas probabilidades, se pueden elegir los instrumentos y opciones financieras más adecuados para minimizar las pérdidas económicas y sociales. Los criterios de optimización son simples. Se construye un modelo general en el cual se introducen los beneficios y los costos de las opciones existentes en los mercados de seguros, de capitales y de orden gubernamental; así se construye un portafolio de

recursos que permitiría a las autoridades subnacionales hacer uso de los mismos para enfrentar las consecuencias de un terremoto u otro desastre de grandes proporciones, sin comprometer su estabilidad financiera y fiscal (Ordaz *et al.* 2003; Grossi *et al.* 2005; Cardona *et al.* 2008d).

### 9.3. Índices de Riesgo a nivel mundial obtenidos con el Global Risk Model

En general se puede reconocer, con algunas excepciones, que existe limitada información histórica acerca de los eventos catastróficos que han ocurrido o, peor aún, que pueden ocurrir en un país. Se puede afirmar en la mayoría de los casos que los eventos más graves que pueden presentarse no han ocurrido todavía. Por esta razón, no es posible pronosticar las futuras consecuencias por eventos extremos con base en la información disponible de efectos que han ocurrido históricamente.

Como ya se ha señalado en los Capítulos previos, se pueden presentar eventos futuros altamente destructivos, razón por la cual la estimación del riesgo debe abordarse mediante la utilización de modelos analíticos probabilistas, que permitan emplear la información disponible para predecir posibles consecuencias catastróficas. 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, considerando las grandes incertidumbres asociadas a la estimación de su severidad y frecuencia de ocurrencia.

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 tener en cuenta e involucrar en forma adecuada la incertidumbre asociada al cálculo de la amenaza y la caracterización de la vulnerabilidad. Utilizando la plataforma CAPRA (ERN-AL, 2009), en el marco del desarrollo del *Global Risk Model* para el GAR 2013 (CIMNE *et al.* 2013c; UN-ISDR, 2013) se ha evaluado el riesgo sísmico del mundo, utilizando una técnica simplificada con una resolución de *pixels* de 5 km x 5 km. Los resultados del riesgo, utilizando la PML de 250 años de período de retorno y la PAE se han formulado varios indicadores similares a los IDD, con el fin de reflejar el orden de magnitud del valor de las pérdidas potenciales en cada país y una medida de la capacidad de los mismos para afrontar dichas pérdidas.

Se ha utilizado la PAE o pérdida anual promedio debido a que aquí se ha planteado esta medida como la mejor métrica del riesgo que existe en términos económicos. En términos probabilistas la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual y da cuenta del costo que debe ser pagado anualmente para cubrir las pérdidas esperadas en el futuro. En resumen, la pérdida anual esperada corresponde al valor anual que cada gobierno tendría que pagar anualmente para cubrir todos los desastres en el futuro en el largo plazo.

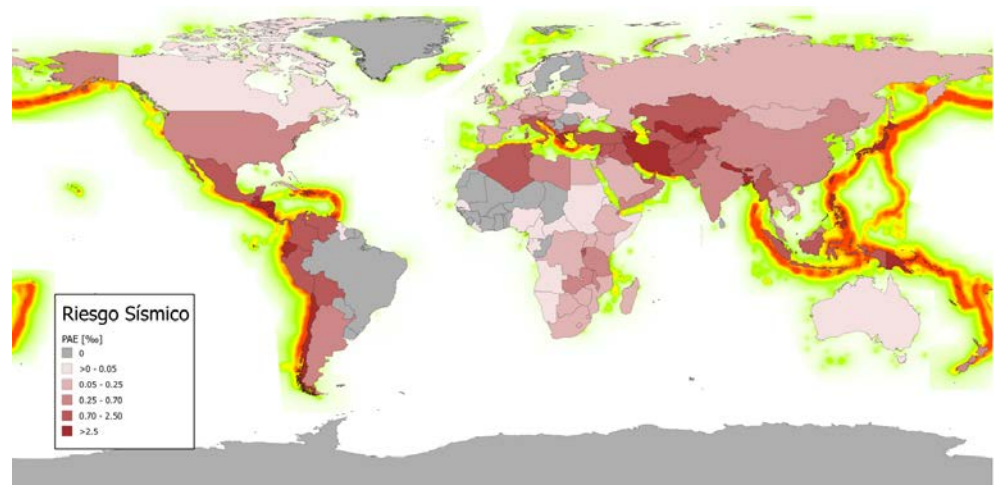
Utilizando la PAE y un valor de PML se construyeron los indicadores antes mencionados con el fin de categorizar o hacer un ranking de los países. Para el efecto se utilizaron variables económicas de flujo que permiten normalizar los valores:

- PAE / GNB: Pérdida anual esperada con respecto del Gasto Nacional Bruto.

- PML<sub>250</sub>/ PIB: Pérdida máxima probable para 250 años de período de retorno en relación con el Producto Interno Bruto

Los rankings se llevaron a cabo a nivel mundial, por regiones y por niveles de económicos. Se evaluó el riesgo total (Nacional), incluyendo los activos tanto del sector público como privado, y el riesgo soberano (Fiscal), incluyendo los activos del sector público y los estratos sociales de bajos ingresos, que se consideran parte de la responsabilidad fiscal de los países.

La Figura 9.5 presenta el mapa mundial de riesgo sísmico representado por el valor de la PAE de cada país al millar del valor del inventario expuesto de activos del sector público y privado.



**Figura 9.5.** Distribución de la PAE Nacional respecto del valor expuesto, para sismo por país

La Figura 9.6 ilustra el ranking a nivel mundial de los países de acuerdo con la PAE Nacional y Fiscal al millar del Gasto Nacional Bruto. Este indicador representa el gasto anual promedio de los países como una fracción del gasto anual público y privado.

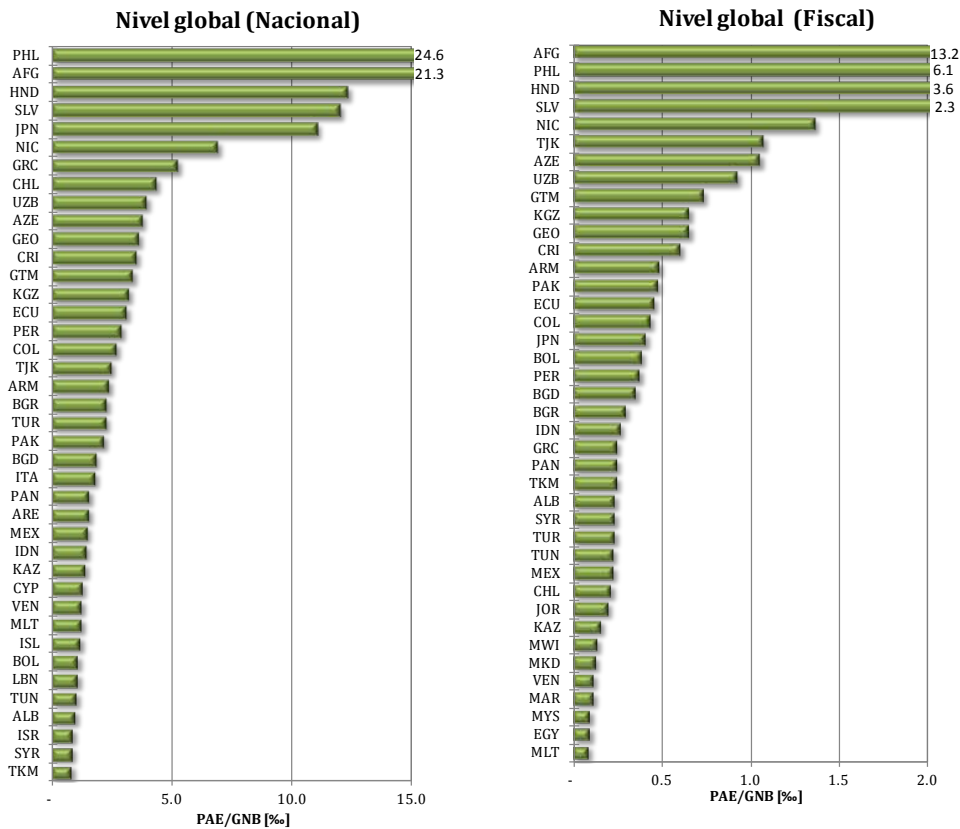


Figura 9.6. Ranking a nivel mundial de la PAE Nacional y Fiscal con respecto al Gasto Nacional Bruto para sismo y por país

La Figura 9.7 ilustra el ranking a nivel mundial de los países de acuerdo con la PAE Fiscal al millar del Gasto Nacional Bruto. Este indicador representa el gasto anual promedio de los países como una fracción del gasto anual público y privado.

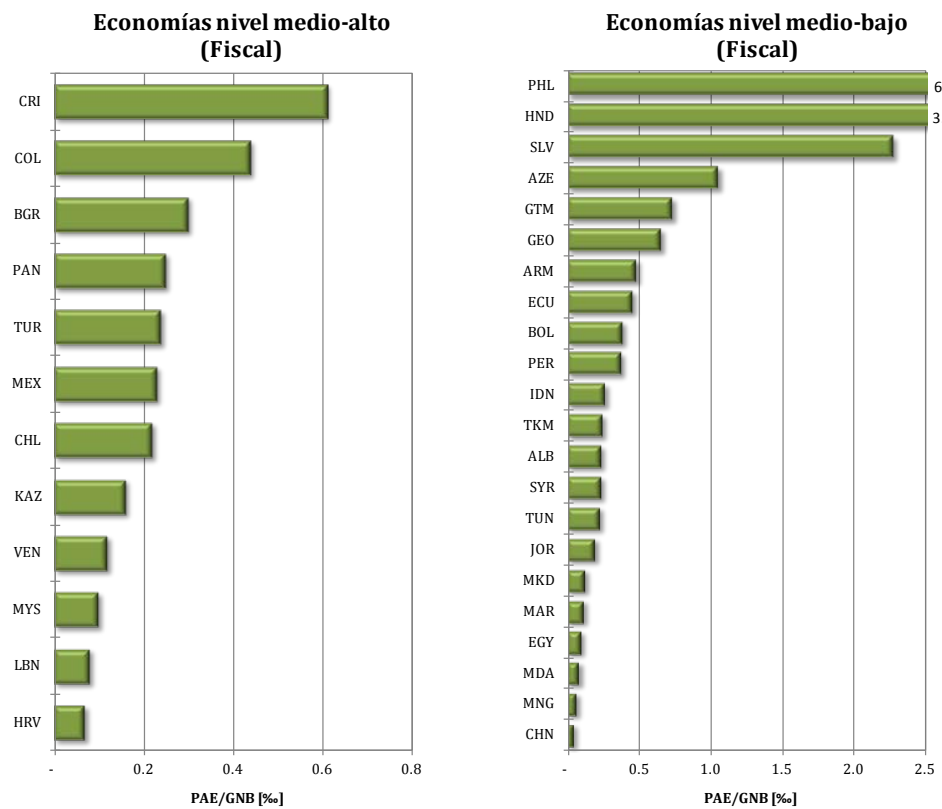


Figura 9.7. Ranking a nivel de las economías de nivel medio-alto y medio-bajo de la PAE Fiscal con respecto al Gasto Nacional Bruto para sismo y por país

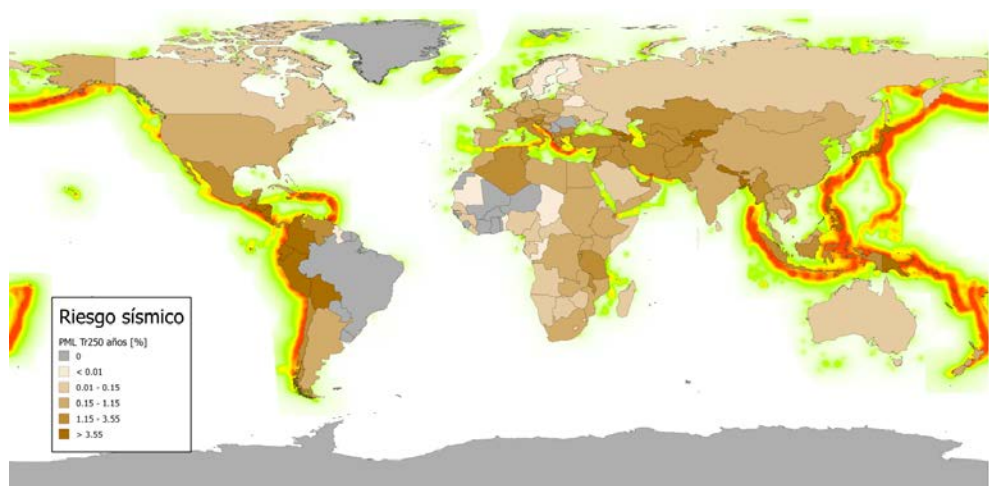


Figura 9.8. Distribución de la PML<sub>250</sub> Nacional con respecto al valor expuesto para sismo por país



La Figura 9.9 ilustra el ranking a nivel mundial de los países de acuerdo con la PML<sub>250</sub> Nacional y Fiscal en porcentaje del PIB. Este indicador refleja el valor potencial relativo de las pérdidas.

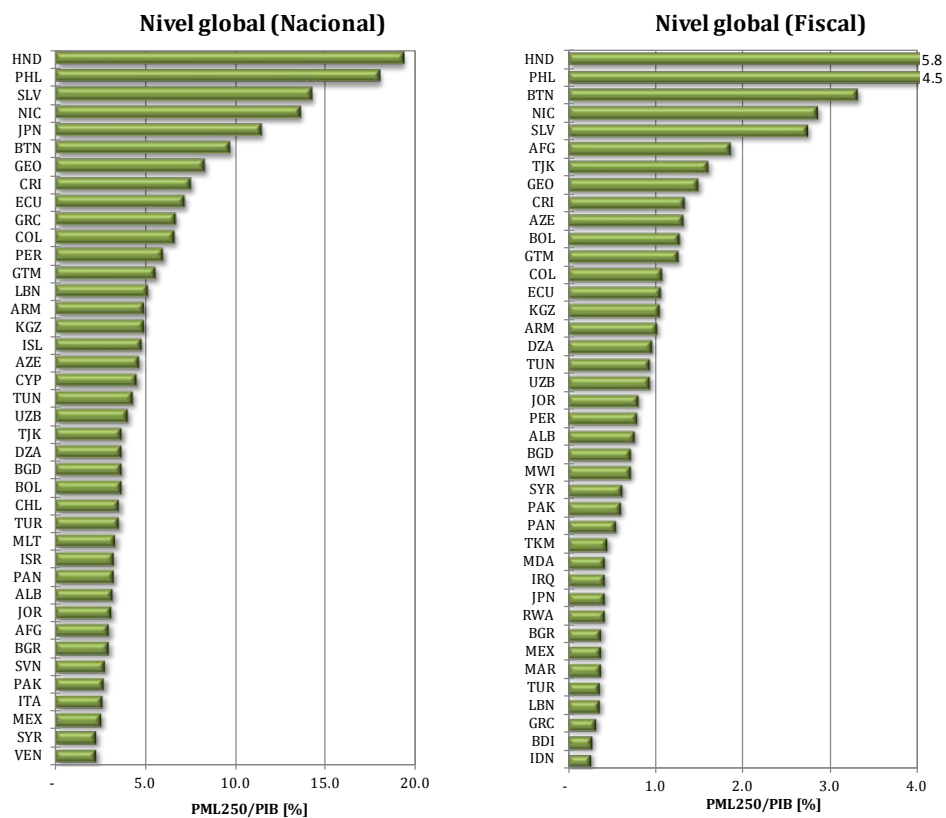


Figura 9.9. Ranking de los países a nivel mundial con base en la PML<sub>250</sub> Nacional y Fiscal en porcentaje del PIB

La Figura 9.10 ilustra el ranking de los países a nivel de las Américas y el Caribe y de Europa a nivel Nacional de acuerdo con la PML<sub>250</sub> en porcentaje del PIB. Este indicador refleja el valor potencial de las pérdidas.

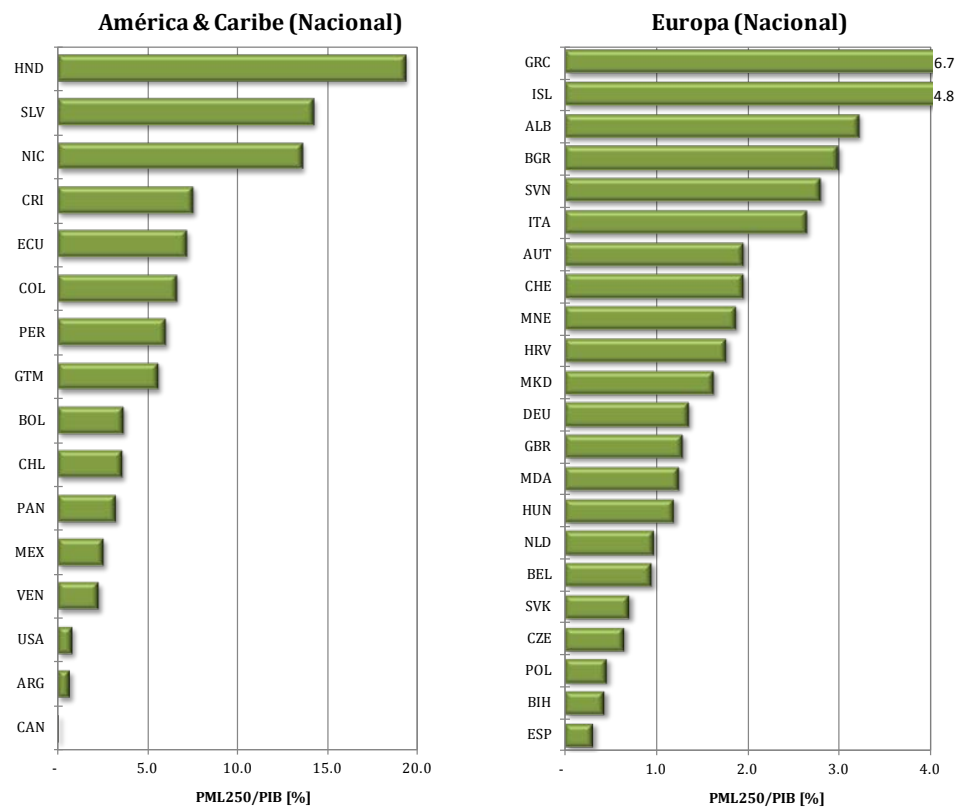


Figura 9.10. Ranking de los países a nivel regional con base en la PML<sub>250</sub> Nacional en % del PIB

Al igual como se indicó para el IDD, estos indicadores son de especial interés dado que permiten dimensionar los pasivos contingentes que representan los desastres extremos o catastróficos, en este caso, generados por sismo. Esta información es relevante para los Ministerios de Hacienda, Economía y Finanzas, dado que como se ha explicado a lo largo de este documento, los desastres pueden causar desequilibrios fiscales importantes y afectar la sostenibilidad macroeconómica de los países. Se espera que esta evaluación por primera vez hecha a nivel mundial contribuya a elevar la consciencia de los gobiernos sobre la importancia de anticiparse a este tipo de problemas para el desarrollo y formular estrategias de prevención, reducción, retención y transferencia del riesgo de desastres, utilizando evaluaciones idóneas de riesgo, como las que se han explicado en este documento, y mecanismos apropiados para cubrir el riesgo residual.



## Capítulo 10.

### **CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN**

En las últimas décadas han aumentado los impactos socioeconómicos derivados de los desastres por fenómenos naturales principalmente por el aumento de la vulnerabilidad por la ausencia de una gestión de riesgos que integre acciones y políticas de prevención y reducción del riesgo, respuesta a emergencias y protección financiera y gobernabilidad; y que además involucre a los diferentes actores de la sociedad para encontrar soluciones que se adapten a la cultura, valores, capacidad económica mediante un trabajo interdisciplinario para promover el tema no sólo en la comunidad científica sino también a los tomadores de decisiones, y convertirlo en una política pública clave para la gestión integral del riesgo. Las ciudades, el clima, las catástrofes están alterando el panorama de la prevención de desastres. Mientras los fenómenos naturales siempre están latentes, los desastres evidencian que algo ha fallado en los procesos de desarrollo. Sin embargo determinar las causas de los modelos de desarrollo mal formulados y proponer medidas correctivas no es obvio. Adicionalmente, debatir que los desastres son el resultado del cambio climático tiende a desviar la atención de las políticas y a no prestarle la atención suficiente a los factores de riesgo, reduciendo los incentivos individuales y de la sociedad para reducir el riesgo.

En este trabajo se ha sustentado por qué los desastres por fenómenos naturales que se derivan de la responsabilidad fiscal son pasivos contingentes que contribuyen a la vulnerabilidad de los países. Se justifica por lo tanto la necesidad de estudios para estimar la exposición fiscal ante este tipo de fenómenos y se describen los distintos mecanismos de protección financiera que se pueden adoptar para la sostenibilidad fiscal de los países. Se propone un desarrollo conceptual y metodológico para la evaluación de las pérdidas económicas potenciales causadas por sismos y cómo a partir de estos resultados y con la utilización de técnicas actuariales es posible dimensionar la exposición fiscal frente a desastres, facilitar la formulación de estructuras de retención y transferencia del riesgo e identificar y priorizar la intervención y reducción del riesgo.

Este último Capítulo presenta una síntesis y reflexión final. En él se muestra un resumen y discusión de los resultados más relevantes, así como las principales conclusiones sobre los conceptos y métodos de la evaluación del riesgo catastrófico y las implicaciones que tiene no considerar los efectos potenciales de los eventos naturales y no intervenir y reducir el riesgo en el desarrollo de un país.

Finalmente se plantean líneas de investigación y desarrollo de trabajos futuros, así como también recomendaciones para avanzar en los diferentes aspectos y temas aquí abordados.

### **10.1. Conclusiones sobre aspectos relacionados con el impacto de los desastres en la sostenibilidad de los países**

Los desastres pueden derivarse de eventos muy severos difíciles de resistir o de eventos moderados o incluso menores que se presentan en áreas con condiciones de muy alta vulnerabilidad. Estos demandan importantes esfuerzos sobre los presupuestos públicos y sobre los presupuestos individuales. El riesgo por eventos menores y recurrentes podría convertirse en un riesgo mayor cuando se superponen patrones que se derivan principalmente de la continua ocurrencia de eventos pequeños y de la falta de intervención sobre las consecuencias generadas por aquellos eventos que minan la capacidad de las comunidades expuestas. Los daños y pérdidas de la población local pueden tomar muchos meses, o incluso años a ser reparadas o restituidas y las implicaciones sociales de la baja resiliencia aumentan definitivamente la falta de bienestar y calidad de vida.

Dentro de las actividades de gestión de riesgos que se deben promover está la continuidad de los proyectos de desarrollo e infraestructura y no posponer las inversiones importantes de las cuales se reciben retornos potencialmente altos en términos del crecimiento económico y de reducción de la pobreza. Después de un desastre, cuando se invierte en reconstrucción, ésta debe ser planificada, priorizando las intervenciones y contando con los recursos necesarios para ello, y, aunque tome más tiempo y sea más costoso, es indispensable no reconstruir la vulnerabilidad existente antes del desastre; de la reconstrucción dependen los efectos positivos o negativos a largo plazo.

Como está reportado en diversos estudios, el mayor porcentaje de población afectada por desastres naturales está relacionado significativamente con el nivel de desarrollo de los países. Y, aunque la exposición a amenazas de diferente índole influye en la existencia de un mayor riesgo, la vulnerabilidad es la que más contribuye al riesgo de desastres, y está definitivamente determinada por las condiciones socio-económicas más que por la geografía. Cuando existen conflictos sociales negativos complejos, y se presenta un suceso, los factores del entorno actúan como desencadenantes o iniciadores de una mayor inestabilidad y mayores conflictos que inciden en la seguridad local, regional y nacional. El hecho de que la exposición aumente en una región por el aumento de la población y por ende la concentración de infraestructura, no necesariamente aumenta la vulnerabilidad cuando se llevan a cabo políticas e intervenciones adecuadas de gestión del riesgo.

Sin embargo, cuando no se cuenta con información adecuada de los impactos que los desastres podrían generar en el bienestar social y en la economía de una región, y cuando los tomadores de decisiones enfrentan restricciones fiscales y no son evidentes los beneficios sociales y económicos netos de las medidas de reducción del riesgo, se tiende a la inacción o a acciones enfocadas principalmente en los horizontes a corto

plazo, dado que los costos de inversión en gestión del riesgo son relativamente altos comparados con la percepción de los beneficios esperados. En diversas ocasiones, los líderes políticos tienden a preferir la asistencia después de un desastre que reducir las pérdidas por eventos que no se sabe cuándo sucederá. En cuanto a la ayuda internacional, de acuerdo al Banco Mundial y a Naciones Unidas, usualmente se disponen el 99% de los fondos para el manejo de desastres en ayudas y reconstrucción y sólo el 1% para reducir la exposición a futuras pérdidas; es necesario corregir este desbalance y enfatizar la necesidad de una gestión de riesgos proactiva. Por lo anterior es esencial invertir en educación, investigación, competencia profesional, mejoramiento de las aptitudes de los diferentes grupos que juegan un papel importante en el desarrollo del país, deseo político en la institucionalización de la gestión del riesgo, inversión en búsqueda y depuración de la información para de esta manera conocer los peligros a los que se está expuesto y así poder intervenir, en crear mercados financieros más abiertos y desarrollados, mejorar la comunicación, promover trabajos conjuntos y concentrar esfuerzos en lograr una mayor igualdad dentro de los países, donde se puedan encontrar soluciones de una manera colectiva para implementar medidas de gestión de riesgos. Para lograrlo, se debe contar con instituciones más sólidas, más estables, más eficientes y de mejor calidad, que incluyan y sean conscientes de la importancia de integrar la gestión de riesgos en sus políticas; además de tener credibilidad, para que así, los ciudadanos confíen en ellas y acaten las acciones que por medio de éstas se llevan a cabo. Mediante las instituciones se puede promover facultades pasivas y activas, donde las primeras requieren de un sistema de control ejecutivo, aceptación de la comunidad afectada de los objetivos, autoridad para imponer controles, capacidad económica y voluntad para cumplir los reglamentos. En relación con las facultades activas se requiere crear una cultura más segura y duradera, contar con mejor presupuesto y planificación de su distribución y usos, tener personal calificado y una mejor administración. Prescindir de instituciones sólidas conlleva a la falta de control y de sistemas que promuevan actividades en pro del desarrollo.

Como se discutió en los Capítulos anteriores, los gobiernos tienen responsabilidades sobre diferentes sectores de la ciudadanía cuando estos no tienen la capacidad para resistir y recuperarse. No obstante, si no se estiman los impactos potenciales, los Estados podrían verse afectados por estas obligaciones no cuantificadas o por lo menos consideradas, sumado a la disminución en los ingresos por los impuestos dada la reducción en la producción y en las exportaciones, que deriva en menor recaudo fiscal, y a la posible abolición o disminución de ciertos impuestos para facilitar la recuperación de los sectores afectados podría significar un aumento en el déficit fiscal. Aceptando que el gobierno es el representante de los ciudadanos, y que el objetivo es velar por el bienestar de la población, éste podría concientizar e influenciar a los individuos a través de los diferentes medios y facultades que poseen, para su protección y el del resto de la comunidad, además de promover la solidaridad entre los individuos donde todos se vean beneficiados por las medidas que se decidan implementar. Además, deben ser consistentes con las normas y reglas y no ser demasiado laxos o no llevar un control de vigilancia de la ley que podría derivar en la generación de nuevos riesgos o la exacerbación de los ya existentes. Esto es factible, siempre y cuando cuenten con un nivel de credibilidad y confianza por parte de los ciudadanos.

Actualmente, el modelo de gestión del riesgo, cuando existe, es un modelo piramidal que usualmente se adopta en la planeación de medidas de reducción del riesgo, cuando los planificadores diseñan soluciones sin tener en cuenta las necesidades de los ciudadanos, debilitando las habilidades propias de la comunidad para protegerse a sí misma y se concentran en los síntomas más que en las causas de aquellas necesidades. Debería haber un cambio de paradigma donde los programas de gestión del riesgo tengan una base comunitaria para lograr llegar a abarcar las necesidades reales de la población, contribuyendo a un buen desarrollo no simplemente prohibiendo, por ejemplo asentamientos en zonas de alto riesgo: Más bien se deben abordar los problemas de fondo, ofreciendo una combinación de alternativas eficaces para evitar, además, la ocupación de terrenos inestables. Se debe procurar mejores disposiciones de fuentes de ingreso, mejor transporte público y disponibilidad de mejores servicios; creando consciencia de las amenazas a las que se encuentran expuestas las comunidades y proporcionando capacidades para reducir o prevenir el riesgo. Aunque la adopción de un nuevo modelo no es tarea fácil, dado que para lograr aplicar políticas de base comunitaria se debe contar con grupos con inquietudes activas e instituciones y agencias capaces de brindar ayuda y respaldo técnico a un nivel adecuado se podría garantizar un proceso completo de desarrollo sostenible. El interés y la conciencia de la gente se pueden emprender de distintas maneras, como campañas a corto plazo de publicidad, folletos divulgativos y educación en general, logrando que las personas entiendan su entorno y aprendan a convivir en éste.

El avance conceptual en la relación entre gestión del riesgo y desarrollo no se ha llevado completamente a la práctica, tampoco se ha entendido completamente como una parte integral de la administración pública. La gestión del riesgo de desastres se debe entender como una estrategia fundamental para el desarrollo sostenible, entender los problemas de riesgo y desastres como un problema de desarrollo relacionado con el uso, ocupación y transformación del territorio. La intervención adecuada sobre los diferentes factores determina el éxito en los esfuerzos llevados a cabo para lograr un desarrollo sostenible. La gestión del riesgo debe resolver los problemas sociales y ser políticamente visible, que pueda abarcar las agendas públicas de los diferentes niveles territoriales y que permita el aprendizaje colectivo y la coexistencia con el medio ambiente natural a través de instrumentos de planificación del desarrollo. Por lo tanto, en la gestión del riesgo de desastres como en el desarrollo sostenible se requiere de la participación de los distintos entes sociales, públicos e interinstitucionales.

El papel que puede asumir el sector público en varios países, especialmente en los países en desarrollo, es limitado por la baja capacidad institucional y los escasos recursos económicos. La falta de capacidad institucional es una barrera significativa para implementar muchas de las soluciones. El desarrollo de mecanismos institucionales, legislativos y operacionales para la gestión del riesgo, requiere un compromiso político importante a largo plazo, es decir, para construir estructuras organizacionales funcionales, con personas con las habilidades técnicas requeridas, se necesita la participación de instituciones no sólo del sector público sino también del sector privado. Si se cuenta con un departamento de gestión del riesgo integrado, es posible reducir la burocracia y generar respuestas más eficaces. La academia, la sociedad civil y el sector privado juegan un papel esencial en la construcción de conocimiento y experiencia. Cuando se ha logrado generar una conciencia del riesgo es

posible observar cambios en el comportamiento hacia el riesgo. Es indispensable que los tomadores de decisiones entiendan que el desarrollo social y económico no se logra si no se consideran los objetivos de la gestión del riesgo. Un programa de gestión del riesgo debe ser integral, pues cuando se concentra únicamente en un solo aspecto o una sola política, no existe un equilibrio y lo más probable es que no se logren los objetivos de la gestión del riesgo. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la gestión del riesgo implica un proceso de largo plazo porque acarrea distintos cambios fundamentales no sólo en la actitud de los ciudadanos, en los procesos de desarrollo y modificación del entorno físico, sino también en la naturaleza de la administración pública que requiere un cambio de paradigma y no concentrarse únicamente en proyectos cuyos resultados sean tangibles o demostrables dentro de un periodo de administración, el cual, en términos de desarrollo y gestión del riesgo es una concepción cortoplacista.

Otro aspecto a considerar es la necesidad de interdisciplinariedad en la gestión del riesgo. Hasta ahora, la evaluación del riesgo se ha manejado, en su mayoría, desde una perspectiva altamente técnica y el hecho de no comunicar los resultados de una manera simple o comprensible a profesionales de otras disciplinas ha impedido que en muchos casos no se concreten acciones debido a la falta de entendimiento de los tomadores de decisiones. Hasta el momento, la capacidad para desarrollar conocimiento científico es alta, sin embargo llevarlo a la práctica es deficiente. Existe una separación importante entre los que hacen política y toman las decisiones y la comunidad científica, y los esfuerzos deben estar dirigidos a generar una sinergia y lograr, desde la academia y la comunidad científica aportar al diseño de políticas públicas. Esto se puede lograr mediante la asignación de recursos, el incremento de la capacidad y mecanismos para llevar a la mesa conjuntamente a los diseñadores de política, políticos y académicos.

Se deben aprovechar los avances en otros países y regiones que enfrentan amenazas similares, construcciones similares y antecedentes culturales similares pues se pueden beneficiar considerablemente al compartir las experiencias en la gestión del riesgo. Definitivamente crear conciencia de los ciudadanos es un elemento clave al igual que fortalecer las instituciones y el tipo de control y estructuras administrativas que son más apropiados para llevar a cabo diferentes proyectos. La comunidad internacional debe asumir un rol muy importante en la creación de capacidad y pericia de quienes toman las decisiones.

Un desastre revela las implicaciones acumuladas de las diferentes decisiones que se tomaron, algunas individualmente, otras colectivamente y otras por defecto. Por lo tanto es necesario entender las causas de raíz que generan este tipo de decisiones y actividades para prevenir una repetición de decisiones y acciones que conllevan a la creación del riesgo y consecuente materialización. Muchos factores pueden contribuir a la generación de un desastre, siendo unos menos obvios que otros. En diversas ocasiones las medidas de prevención eficaces no son siempre obvias. Después de un desastre mayor, existe la oportunidad de promover una reconstrucción con transformación y la posibilidad de ajustar la legislación para estimular la consolidación de la gestión integral del riesgo, promoviendo una combinación de estrategias para abordar cada uno de los niveles de riesgo.



En relación con la reducción del riesgo se requieren ciertas medidas de organización y procedimiento. El lapso durante el cual se puede lograr una notable reducción del riesgo es largo. Los cambios en la planificación y en la modernización de las estructuras y los cambios de las características de las edificaciones son procesos que demoran décadas. Por lo tanto los objetivos y las políticas de reducción deben mantenerse durante un período determinado y deberían conservarse a pesar de los cambios en la administración pública, y mantener las prioridades presupuestales y las políticas relacionadas con la gestión del riesgo.

Cabe anotar que los análisis de beneficio-costos son de especial importancia en las actividades de reducción del riesgo, sin embargo, especialmente en los países en desarrollo, éstos no han sido completamente utilizados; cuando se ha hecho, se han enfocado principalmente en evaluaciones deterministas basándose en desastres pasados en la región de estudio. Además, en general se han concentrado en los beneficios económicos y no se incluyen los significativos beneficios sociales que las intervenciones pueden acarrear. Si se cuantifican las posibles pérdidas que podrían generarse por eventos naturales, se podría priorizar, y por lo tanto se distribuiría mejor los fondos con los que se cuenta, sin gastar innecesariamente los fondos limitados para hacer una intervención demasiado costosa si el riesgo es extremadamente bajo. En consecuencia, el diseño basado en el riesgo (es decir basado en las implicaciones económicas y sociales) es algo hacia lo cual se debería propender, evaluando las estructuras no sólo para una demanda sísmica, como ha sido tradicional, sino para varias demandas con probabilidades de excedencia diferente. Así, con los requerimientos que proporcionan estándares mínimos para mantener la seguridad en el caso de presentarse un sismo fuerte, se puede proteger de fallas mayores y pérdidas de vida manteniendo las funciones o proporcionando una reparación fácil de acuerdo con diferentes niveles mínimos, acorde a una serie de criterios, e incentivando a la reducción de la vulnerabilidad. En rigor no existen estructuras invulnerables y que, en contraste, cuando se afirma que una estructura es vulnerable, es una valoración normativa, y que no significa que dicha estructura no pueda soportar sismos con intensidades menores al sismo que se utilizó como umbral en la norma para valorar si la estructura es competente o no.

## **10.2. Conclusiones relacionadas con el riesgo soberano**

Los efectos en la macroeconomía de un país por los desastres pueden diferir enormemente dependiendo de la región afectada, y depende particularmente, de factores demográficos y de la organización existente en la fase de respuesta y recuperación y del nivel de cobertura. Los desastres no sólo generan efectos directos traducidos en pérdidas de vidas, afectados y pérdidas económicas sino también efectos secundarios que tienen un impacto importante en el nivel y tasa de crecimiento de la mayoría de los sectores que se reducen y se ve reflejado en la disminución del producto interno bruto y el balance fiscal por los cambios existentes en las proyecciones de ingresos en exportaciones, turismo y servicios y también por los gastos adicionales en importaciones y pagos de servicios, además del posible aumento en el nivel de deuda,

reservas externas, finanzas públicas e inversión pública. También podría tener efectos negativos sobre la inflación, el nivel de desempleo y la reducción en los ingresos de los ciudadanos.

A pesar de que los desastres representen pasivos contingentes implícitos importantes, estos no se incluyen en los cálculos de provisión fiscal del país, por lo que en el momento en el que suceda un siniestro de grandes magnitudes el vacío financiero que conllevaría podría significar un déficit fiscal importante, derivando en una restricción presupuestal de largo plazo, por lo tanto impidiendo el logro de los objetivos de desarrollo. Es por esto que es esencial implementar políticas de gestión para evitar generar volatilidades no estimadas en el presupuesto. Las obligaciones contingentes se pueden convertir en una amenaza para la estabilidad presupuestal de un país cuando éstas son amplias y no se tiene un control ni manejo sobre ellas. El hecho de no incluir a los desastres, a pesar de sus altas incertidumbres, en los balances fiscales en términos legales y presupuestales, podría derivarse en el uso ineficaz de los recursos cuando se deben desviar los inversiones de proyectos ya pactados para ser usados en la respuesta a emergencias y recuperación, además de generar ineficiencia en el tiempo de respuesta y mayores gastos de inversión y de mayor magnitud para la recuperación y reconstrucción.

Citando a Wiesner (1982) “la esencia del origen político del desequilibrio fiscal radica entonces en el nivel de percepción que en un momento dado tenga una comunidad sobre el riesgo que corre su patrimonio colectivo. En la medida en que se perciba el desequilibrio fiscal como peligro remoto, que no amenaza hoy a la seguridad y que, frente a intereses inmediatos y tangibles, rechazan la disciplina, la consistencia, la eficiencia en la asignación de recursos y la calidad de las políticas económicas. Es decir, la defensa del equilibrio fiscal entra en clara desventaja política frente a la defensa de los intereses inmediatos, regionales, sectoriales y particulares”.

La escasez de estudios y de datos sobre el impacto de fenómenos naturales, contribuye a la falta de atención que se les presta por parte de muchas instituciones científicas, técnicas, administrativas y políticas. Dentro de las medidas de gestión del riesgo se debe incluir el marco legislativo, la actitud social ante los problemas y el presupuesto disponible. Dada la demanda fiscal que crece exponencialmente, es muy conveniente contar con una estrategia financiera predefinida, pues cuando no se plantea ninguna y cuando hay ausencia de fondos y herramientas financieras, las fuentes fiscales enfrentan impactos mayores. El gobierno debe crear, en colaboración con la experiencia del sector asegurador, una estrategia innovadora para la protección financiera que compromete la participación de las instituciones locales; y, promover una cultura del seguro, de tal forma que se cubran no sólo las pérdidas sino también estimulen la responsabilidad de los ciudadanos. Favorablemente, en la actualidad se ha avanzado en los temas relacionados con la gestión del riesgo y en algunos países ya se entiende que el tema concierne a diferentes actores y de manera importante a los ministros de Hacienda o de Finanzas por las presiones fiscales que los desastres pueden generar en un país. Por consiguiente los resultados de las evaluaciones del riesgo deben combinarse con modelos macroeconómicos que puedan reflejar cómo la economía entera de un país se comportaría en el momento en que se presenten eventos, es decir, para el diseño de una estrategia financiera, además de la modelización de las pérdidas se debe llevar a cabo un estudio para identificar los recursos del Estado necesarios para

manejar los niveles de respuesta, rehabilitación y reconstrucción. No obstante, lo principal es que el Estado sea consciente de que la mejor estrategia para reducir el riesgo de desastre fiscal es previniendo o mitigando el riesgo físico, y para el riesgo no mitigable promover las alternativas financieras, para lo cual debe incluirse en los análisis no sólo las estimaciones de los impactos de eventos de alta intensidad sino también los de menor intensidad, que usualmente las consecuencias de estos últimos son las que se desprecian o subestiman dejando de considerar los efectos acumulativos y las implicaciones de enfrentar de manera recurrente sucesos que pueden producir desgaste administrativo. Es necesario diferenciar entre los recursos necesarios para afrontar los eventos de alta frecuencia/bajas consecuencias y los de baja frecuencia/altas consecuencias; es decir, además de las medidas de prevención y reducción del riesgo, para los eventos de bajas consecuencias tiene sentido tener una estrategia de liquidez inmediata para responder a tiempo a eventos que son más probables que sucedan. En resumen, la estrategia financiera debe estar estructurada de manera diferencial donde se contemple por un lado las necesidades de eventos de gran magnitud y por otro lado de los eventos moderados recurrentes.

En los países se debe tener clara la necesidad de adoptar una estrategia integral de gestión fiscal para la respuesta a desastres, dado que la falta de conocimiento y de la existencia de una estrategia ha generado que los instrumentos financieros que se manejan se tratan de manera desarticulada además de no contar con los suficientes recursos para el momento de responder ante diferentes tipos de eventos. Para lograr adoptar una estrategia integral es necesario que existan no sólo esfuerzos institucionales, sectoriales y locales consolidados sino también la capacidad técnica y financiera que aún son insuficientes en diferentes regiones. Además, mediante criterios de control en los instrumentos y aprobación de inversión pública es posible evitar la generación de nuevos escenarios de riesgo y por lo tanto la reducción de las obligaciones contingentes. Pero la falta de adopción de una estrategia financiera se debe principalmente a que en la mayoría de los países no ha existido una entidad o agencia claramente responsable del manejo fiscal de los desastres, es decir, aunque existe un marco legal para el manejo de las obligaciones contingentes, los desastres no se consideran una de las fuentes de riesgo fiscal del Estado, como si son consideradas las transacciones de crédito público, los contratos administrativos.

Con la estimación del riesgo catastrófico un ministro puede conocer métricas como la pérdida anual esperada para diferentes tipos de amenaza como también puede conocer los efectos en un escenario específico que son importantes para la planificación de la distribución del presupuesto y ayudan en la priorización de las inversiones de reducción del riesgo mediante los análisis costo-beneficio probabilistas. Una vez un ministro conoce el riesgo financiero que podría generarse por desastres, podría estar interesado en integrar la financiación del riesgo catastrófico en su portafolio de responsabilidades y por lo tanto se plantearían posibles soluciones para considerar de manera adecuada la vulnerabilidad fiscal. Es importante promover la coordinación efectiva y la priorización de políticas y programas de reducción del riesgo y la distribución de recursos en las diferentes entidades. La gestión del riesgo como tal significa estrategia para manejar adecuadamente los riesgos, por lo tanto esto requiere mayor liderazgo, alta capacidad de coordinación y una visión clara para crear redes y trabajos conjuntos entre el sector público y privado y donde la capacidad técnico

científica sea uno de los pilares del desarrollo de estrategias de prevención y reducción, respuesta y financiación del riesgo.

### **10.3. Conclusiones relacionadas con los mecanismos de protección financiera**

Los países, especialmente los que están emergiendo económicamente, con baja penetración del seguro tienen menor capacidad para absorber los costos no previstos y no presupuestados de los desastres. En estos países, las imperfecciones del mercado persisten y la expansión y desarrollo de mecanismos de cobertura de pérdidas económicas se mantienen limitados. Por ende, el impacto de las pérdidas no aseguradas no sólo se siente en el periodo subsiguiente al desastre sino que tiene repercusiones al mediano y largo plazo.

Es muy importante comprender que los mecanismos financieros hacen parte de un conjunto de instrumentos y acciones de gestión de riesgos pero no son una panacea para todos los problemas de riesgo. Se debe pensar en términos de complementar con otros mecanismos de reducción del riesgo y esquemas relacionados con un desarrollo sostenible. Asimismo, los mecanismos disponibles en los mercados de seguros y de capitales no son sustitutos entre sí, sino que son complementarios y se deben usar simultáneamente en una estructura combinada que cubra diferentes capas de riesgo. Por esta razón, además de un estudio detallado que especifique el diseño y la estrategia de colocación de la estructura de financiación, es necesario trabajar en el logro de acuerdos multilaterales que permitan el acceso de instituciones locales a los mercados internacionales y al establecimiento de acuerdos que permitan consolidar un marco regulatorio común a las distintas entidades nacionales e internacionales participantes en el sistema.

En relación con el aseguramiento individual, es común que se tenga la tendencia a verlo innecesario cuando no se ha recibido ningún “beneficio” después de pagar primas por muchos años. Además es difícil convencer a los individuos de que el pago de retorno de una póliza de aseguramiento no es el retorno total. Sin embargo, los ciudadanos deberían reflexionar que si no han recibido nada a cambio por la prima de aseguramiento que paga es porque no han sido víctimas de un evento, no han tenido el infortunio de sufrir pérdidas, ni afectar su bienestar a corto, mediano o largo plazo; por otro lado, deben entender, conocer y acordar las condiciones iniciales de un contrato de aseguramiento, dado que no pueden esperar que si se han presentado pérdidas fuera de la póliza, los términos del contrato no cambiarán después del desastre. En cuanto a la industria aseguradora y reaseguradora, éstas deben reflejar las grandes pérdidas ocasionales esperadas en el precio de la prima, y dado que tienen conocimiento previo de la probabilidad de grandes pérdidas a pesar de las altas incertidumbres, deben contar con las reservas para cubrirlas. Finalmente, en relación con los reguladores, estos deben encargarse de vigilar y controlar que los precios establecidos por las aseguradoras sean consistentes y no deben presionar por establecer precios ni más bajos ni más altos, que no reflejen el riesgo. Se podría optar por subsidios u otros mecanismos de ayudas, pero no restringir las primas a que sean artificialmente bajas.

Las primas deben reflejar el riesgo para señalar a los individuos qué tan seguro es el lugar donde están ubicados y que medidas preventivas y de protección deberían implementar para reducir su vulnerabilidad. Adicionalmente, si se logra mayor participación en la suscripción del seguro las primas pueden presentar un menor costo. Cuando sólo hay una pequeña cantidad de participantes en un programa de seguros, las primas podrían permanecer muy altas, por lo que podrían ser prohibitivamente costosas para los compradores potenciales de pólizas de seguro. Si se estimula a la población a que se proteja a sí misma mediante el seguro, se asegura la concentración del nivel de protección.

Ahora bien, el mercado de capitales tiene un nuevo rol emergente en la transferencia de riesgos catastróficos. Una característica básica de economías más sólidas es un sistema de mercado de capitales bien desarrollado. Estos sistemas localizan ahorros y capital de inversión en varios sectores económicos con la localización de reglas basadas en el riesgo y el rendimiento. La carencia de un nivel de capital, en el sector de seguros y reaseguros tanto local como internacional, suficiente para respaldar la financiación requerida por un desastre, genera, en países propensos a este tipo de riesgo, escasez de oferta de reaseguros, aumentos desproporcionados en las primas de seguros y reaseguros y en general una gran distorsión en el funcionamiento correcto de los mercados.

Es bueno recordar que los Bonos CAT presentan algunas ventajas frente a otros esquemas financieros de cobertura de riesgos aunque aún falta tiempo para lograr que se usen con mayor frecuencia. “i) En el bono catastrófico la posibilidad de que el asegurador o reasegurador no pague al gobierno no existe ya que el dinero para el pago de las pérdidas fue entregado por el inversionista al comprar el bono; ii) en caso de ocurrir el evento catastrófico el gobierno cuenta inmediatamente con fondos para hacer frente al desastre y no tiene que esperar el pago por parte del asegurador y reasegurador; iii) el costo para el gobierno del bono podría llegar a ser inferior a la prima de seguro si existiera alguna compañía de seguros dispuesta a asegurar los daños ocasionados por el evento catastrófico; iv) el bono catastrófico no está correlacionado con el mercado financiero por lo que es útil en la diversificación de carteras de inversión; v) la emisión del bono puede evitar grandes desajustes en el presupuesto del gobierno debido a la ocurrencia de eventos catastróficos que pudieran hacer necesario un incremento en los impuestos o un impuesto especial para financiar el gasto del gobierno en reparar los daños ocasionados por el desastre” (Fernández *et al.* 2005). No obstante, como ya se ha señalado, el Bono CAT no es una alternativa para reemplazar el seguro sino en casos relativamente excepcionales en las capas o coberturas menores. El Bono CAT es sin duda de interés para capas altas y portafolios relativamente grandes, donde el costo del seguro no sería óptimo.

Por otro lado, la retención consciente de riesgos es una figura de especial importancia, pues reservas bien conformadas con bases técnicas sólidas, tanto de ingeniería como de análisis financiero, permiten retener ciertos riesgos y negociar con compañías de seguros y reaseguros riesgos residuales e incluso hacer parte de un *pool*. En otras palabras, la retención del riesgo es también una opción que podría considerarse cuando existe una buena información de qué riesgos pueden retenerse y cederse. Si las estrategias de autoprotección son de especial interés, se debe señalar

que éstas, al igual que otros mecanismos, requieren una inversión previa, y, que el autoaseguramiento podría fallar si existen impactos negativos en periodos sucesivos.

Existen varios instrumentos financieros de retención o autoseguro y arreglos institucionales que se pueden utilizar: Fondos de desastres o de reservas para cubrir las primeras capas que bien podrían recibir recursos de entidades con destinación específica o recibir el desembolso de un crédito contingente, y que estimularía la cultura del ahorro precautorio que hasta ahora no se ha tenido en los fondos de reservas existentes. Los créditos contingentes son utilizados usualmente en la capa o rango más alta, cuando no hay forma de transferir el riesgo o es necesario limitar la pérdida. Esta figura ha sido un mecanismo con el cual los gobiernos pueden facilitar la conformación de consorcios de seguros al contratar créditos que permiten aumentar las reservas disponibles con las cuales se retiene riesgo, pero que no se desembolsan si no se presentan siniestros que impliquen tener que utilizarlas. Es necesario aclarar que las entidades que otorgan las líneas de crédito de este tipo, que en general son entidades multilaterales, dirigen sus esfuerzos a que los países, de manera autónoma, diversifiquen el riesgo, generen sistemas de incentivos que fomenten la diversificación del riesgo por parte de los agentes privados y promuevan la mitigación del daño físico.

Otro producto interesante es la cautiva, que es una entidad corporativa creada y controlada ya sea por una sociedad matriz, una asociación profesional o un grupo de empresas, y su único propósito es proveer cobertura sobre los riesgos de dicha sociedad madre. Representan diversas ventajas como costos más bajos por no incurrir en costos administrativos asociados al traslado de la póliza a una aseguradora, se manejan los propios riesgos pudiendo aumentar la diversificación del riesgo. Sin embargo, debido a que las cautivas son muy recientes en el mercado mundial y dadas sus características de acumular reservas fuera del país, puede ser un proceso dispendioso el estar haciendo su justificación frente a personas no conocedoras y frente a la opinión pública, por lo que se recomienda promoverla en forma paulatina para que en un mediano plazo se adopte por los países o por las comunidades de países como entes subregionales convocantes y coordinadores.

#### **10.4. Propuestas y recomendaciones de política para la protección financiera frente al riesgo de desastre**

Desde la perspectiva de la gestión financiera, en varios países no se cuenta con mercados financieros bien desarrollados y mucho menos con una cultura de aseguramiento. Aparte de las opciones financieras tradicionales, que están enfocadas principalmente a la respuesta a emergencias, no existe un avance importante en el tratamiento de nuevas opciones financieras.

En general es importante señalar que se debe tomar conciencia de la importancia de adoptar medidas de diversificación de pérdidas potenciales a causas de la ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos. Mecanismos como el aseguramiento o la transferencia de pérdidas al mercado de capitales, que podrían ser subsidiados por los gobiernos nacionales, permitirían disminuir la carga fiscal del Estado en general una vez ocurrido un desastre. A partir de la definición y estimación de la responsabilidad

del Estado y de su capacidad fiscal, se pueden establecer paulatinamente instrumentos de protección financiera con alcances modestos que pueden ampliarse con el tiempo, de acuerdo con la prosperidad económica y el desarrollo de una cultura del seguro, tanto en el sector público como en el sector privado.

Es fundamental hacer evaluaciones y modelaciones cuidadosas de pérdidas con varios períodos de retorno, que permitan definir un monto o pérdida máxima probable, con lo cual los gobiernos pueden dimensionar el pasivo contingente y evaluar el riesgo soberano que significan los desastres. También se debe estimar la pérdida anual esperada, o prima pura, de los portafolios de bienes fiscales en riesgo y establecer una estrategia que permita identificar qué recursos se necesitarían para cubrir dichas pérdidas, mediante la acumulación de reservas, o estableciendo contratos de créditos contingentes, o de transferencia de pérdidas con el sector asegurador o el mercado de capitales. Aparte de establecer provisiones acorde con esas realidades, con el fin de reducir la vulnerabilidad fiscal, el reconocimiento de estos pasivos contingentes se convierte en el mejor argumento para promover la reducción del riesgo (intervención de la vulnerabilidad existente en los procesos de desarrollo) mediante medidas de prevención y mitigación que reduzcan los daños potenciales sobre el *stock* de capital del país y sus implicaciones o impacto socioeconómico.

En cuanto a la retención del riesgo, una alternativa interesante podría ser la regulación de un fondo de contingencias de las entidades del Estado donde cada una contribuye en proporción a su riesgo individual calculado con bases actuariales. Y, mediante la conformación de una cautiva aseguradora de las agencias del Estado se podría combinar la retención y la transferencia del riesgo para el uso más eficiente de los recursos disponible.

La primera responsabilidad o la más inmediata de los gobiernos es contar con recursos que le permitan reconstruir o reparar los inmuebles de propiedad de las entidades públicas en caso de desastre. De acuerdo con la mayoría de las legislaciones todos los inmuebles públicos deben estar asegurados o debe existir un fondo de reservas con ese objetivo. En ninguno de los países se conoce actualmente qué porcentaje de dichos inmuebles está protegido por un contrato de seguros ni hay un inventario cuidadoso que indique para cada inmueble cuál es su valor asegurable, el valor de la prima y las condiciones en que están cubiertos, los deducibles y sus características sismorresistentes. Por esta razón es deseable que se desarrollen programas de gestión de activos públicos existentes en los cuales se registren estos datos y la información mínima de las construcciones con fines de evaluación de su vulnerabilidad, lo que incluye el tipo estructural, el número de pisos del edificio, fecha de construcción y ubicación geográfica. Con dicha información es posible refinar a un nivel de detalle muy deseable, el impacto de fenómenos naturales intensos.

Adicionalmente, en muchos países el aseguramiento de los inmuebles públicos se realiza inmueble por inmueble, dado que la ley asigna la responsabilidad a la entidad responsable del inmueble. Este mecanismo es ineficiente porque no permite gozar de los beneficios de la diversificación. Los costos de aseguramiento podrían reducirse si se diseña una póliza colectiva; se podría establecer un *pool* de riesgos de todos los inmuebles en un portafolio único, obteniendo menores costos de cobertura. Por lo tanto, al realizar las modelizaciones del daño potencial del portafolio de construcciones con técnicas refinadas de riesgo, diferentes deducibles y diferentes capas de protección

o cobertura se puede negociar con el sector asegurador/reasegurador o con el mercado de capitales. Para los inmuebles públicos se puede considerar un contrato especial para la transferencia masiva y unificada del riesgo que facilite lograr una economía de escala. Esta decisión en los países implica estimar los costos de la cobertura que le correspondería asumir a cada entidad de su presupuesto según los inmuebles que estén a su cargo y definir un mecanismo de recaudo o retención presupuestal en los Ministerios de Hacienda y Finanzas. De no existir un portafolio detallado de inmuebles se puede negociar una póliza que los aseguradores denominan *treaty* por todo el conjunto de edificaciones por un valor definido, que corresponde a un límite de exceso de pérdida hasta el cual estarían dispuestas las aseguradoras o hasta el cual el gobierno está dispuesto a transferir las pérdidas por una prima razonable.

Una figura similar a la descrita para el cubrimiento de los inmuebles públicos nacionales se puede implementar con los inmuebles a nivel subnacional y local. El cubrimiento de estos bienes debe ser realizado por las entidades territoriales, sin embargo la mayoría de los municipios y departamentos o estados no están en capacidad de contratar esta protección financiera y la historia ha demostrado que son los gobiernos nacionales los que finalmente asumen las pérdidas y reconstruyen las edificaciones cuando se presentan desastres mayores. Esta situación no es la más adecuada y los gobiernos nacionales podrían promover una estrategia que incentive que las entidades territoriales asuman parte de esta responsabilidad. El incentivo más apropiado que puede establecer un gobierno nacional es asumir un porcentaje de las primas en cada caso, lo que puede definirse en función de la categorización de los municipios, departamentos o estados y de acuerdo con el esfuerzo fiscal de cada ente territorial. Por otro lado, el gobierno nacional podría proponer e incentivar la creación de un *pool* de aseguramiento de catástrofes para los municipios, ofreciendo líneas de crédito con devolución que ayudaría a aumentar la capacidad de retención y por lo tanto, a bajar los costos de transferencia. De acuerdo a Ghesquiere *et al.* (2010) este mecanismo reduciría los costos de aseguramiento significativamente: (i) entre el 7% y el 10% de los costos administrativos debidos a la recolección de la prima a través del impuesto predial, (ii) entre el 15% y el 25% de los costos de la prima por el riesgo colectivo y (iii) entre 25% al 35% de los costos de la prima por la retención del riesgo garantizada por el gobierno. Si todos los activos, tanto públicos como privados, que están expuestos a la ocurrencia de desastres, estuvieran asegurados, la vulnerabilidad fiscal del gobierno sería mínima. Sin embargo, en varios países, las pérdidas aseguradas no han excedido nunca el 10% de los daños. De acuerdo a Fasecolda (2011), en Colombia, el 10% de las pérdidas directas causadas por el sismo de la región cafetera en 1999, tenía cierto tipo de aseguramiento, y sólo el 4,5% del total de las pérdidas causadas por el fenómeno de la niña 2010-2011 estaban aseguradas.

La experiencia indica que el Estado en el pasado ha reconstruido vivienda para las personas más pobres cuando han sido afectadas por desastres mayores que causan impacto en la opinión pública y exigen una respuesta del gobierno para apoyar a los estratos de menores ingresos. Esta responsabilidad fiscal significa que el Estado tendría que cubrir pérdidas de un segmento del sector privado, lo que se considera en general aceptable teniendo en cuenta los principios de solidaridad, subsidiaridad y equidad. Para varios países, pagar la prima para cubrir este segmento no es factible dado que la vulnerabilidad de las edificaciones es muy alta y, por lo tanto, las primas son de valores



notables. No obstante se puede explorar la posibilidad de que los gobiernos nacionales jueguen un papel complementario a los esfuerzos que al respecto realicen las entidades territoriales a nivel subnacional.

Para elevar la eficiencia del seguro es importante, como ya se dijo, promover la modelización refinada del riesgo catastrófico de las carteras de las compañías de seguros, de tal forma que se tengan valores variables de PML y el valor de las primas puras de riesgo de acuerdo con información técnico-científica apropiada. Por otra parte, el aseguramiento obligatorio no sólo de la deuda sino del valor total de los bienes inmuebles privados adquiridos mediante el sistema hipotecario, de las zonas comunes de las edificaciones en propiedad horizontal, así como también el seguro agropecuario, son figuras que bien se pueden promover en la mayoría de los países. Es importante destacar también la posibilidad de promover instrumentos de aseguramiento colectivo voluntario de bienes privados<sup>1</sup>. Su objetivo, aparte de estimular la cultura del seguro entre los privados con capacidad de pago es la protección en forma subsidiada de los más pobres que no están en capacidad de pagar seguros ni el impuesto predial, es decir los propietarios de los predios exentos. Esta iniciativa podría promoverse en múltiples ciudades con incentivos de los gobiernos nacionales a los territoriales para apoyar la realización de los estudios apropiados de riesgo necesarios para vincular a compañías de seguros que puedan ofrecer este tipo de pólizas colectivas.

Los países podrían explorar la constitución individual o en conjunto de una compañía de seguros o reaseguros cautiva *offshore*, con la cual se podrían reducir los costos que se pagan en primas de seguros y obtener una mejor administración de sus riesgos. A través de esta figura o instrumento los países podrían administrar sus propios riesgos y, a la vez, retener las primas que se pagan por los seguros a compañías que básicamente harían el *fronting* en cada país. Este mecanismo, de poderse implementar, eleva la eficiencia financiera del mecanismo de seguros y reaseguros (póliza única para la transferencia masiva del riesgo), logrando mejores condiciones de reaseguro y la conformación de reservas del gobierno con los mismos objetivos de protección financiera; dentro de los cuales podría cubrir el deducible.

La emisión de un Bono CAT puede elevar la eficiencia financiera si el costo del portafolio de los inmuebles públicos o privados es importante. Se considera que con el pasar de los años este instrumento pueda cada vez ser más competitivo y factible y en todo caso es una opción o alternativa complementaria para cubrir las capas altas de una estructura financiera de retención y transferencia. Igualmente la contratación de créditos contingentes para aumentar las reservas de fondos para desastres, cubrir la prioridad o deducible, promover la inversión pública o la conformación de consorcios de aseguradores locales, para reducir las primas y ampliar la base de aseguramiento de privados y del sector público, es también un mecanismo complementario que puede elevar la eficiencia financiera del gobierno y fortalecer la gestión integral del riesgo en general.

En resumen, se puede señalar que los gobiernos centrales y subnacionales deben implementar nuevas estrategias para estimular el desarrollo del mercado primario de

---

<sup>1</sup> Similares al implantado por el gobierno municipal de Manizales, en Colombia. Dicho seguro ha sido recaudado con el impuesto predial y ha sido perfeccionado para cubrir en forma subsidiada a todos los estratos socioeconómicos más pobres.

seguros contra las distintas amenazas que representan los desastres, dando especial importancia a la transferencia del riesgo de los daños en la infraestructura física pública. Este primer paso permitiría disminuir la carga fiscal de los gobiernos después de un desastre y abriría la senda a seguir para facilitar el acceso del sector privado al mercado de seguros. Los gobiernos subnacionales y el gobierno central son los llamados a generar los recursos que puedan servir como mecanismo de protección y de compensación para los hogares más pobres, de tal manera que se logre minimizar la caída del bienestar social. Siguiendo la regla simple del “dedo pulgar” (Freeman *et al.* 2003) se puede afirmar que se debe guardar el equivalente de la mitad de las pérdidas esperadas en el futuro. En este sentido, el gobierno central (o subnacional) actuaría como un mecanismo automático de estabilización, que no sólo mejora la eficiencia sino que además permite reducir la pérdida del bienestar social.

Finalmente, se concluye que dentro de las actividades de gestión de riesgos que se promueven en los países se debe hacer especial énfasis en la reducción del riesgo mediante el ordenamiento territorial y la intervención de la vulnerabilidad de edificaciones esenciales, en primera instancia, lo que tiene un alto rédito no sólo económico sino social. Igualmente es necesario estimular la reducción del riesgo de edificaciones privadas, lo que podría facilitarse si se promueven subsidios como la reducción del predial u otros impuestos cuando se interviene la vulnerabilidad estructural de las edificaciones. Es necesario estimular la aplicación y cumplimiento de la legislación sismorresistente y del subsidio para el mejoramiento de vivienda con fines de intervención de la vulnerabilidad estructural.

## 10.5. Conclusiones sobre la modelización del riesgo catastrófico

El análisis probabilista del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir los activos expuestos, en lapsos dados, como consecuencia de la ocurrencia de fenómenos peligrosos, integrando de manera racional las incertidumbres que surgen en las diferentes fases del análisis

Los modelos de riesgo usualmente han sido utilizados para estimar las consecuencias financieras de los desastres potenciales. Sin embargo, dependiendo de la forma como se interpreten los resultados pueden ser usados para determinar otros tipos de impactos y proponer formas para reducirlos. De las evaluaciones probabilistas se deriva la curva de excedencia de pérdidas, la cual es una medida mejorada del riesgo comparada con un evento único o un análisis determinista, dado que proporciona información de interés a los tomadores de decisiones, incluyendo el rango total de las estimaciones probabilistas y sus medidas resumidas como el valor esperado, la varianza y la desviación estándar. Tanto los eventos frecuentes como los menos frecuentes (alto impacto) están representados en la CEP, Por lo tanto es posible obtener la pérdida máxima probable para la exposición bajo estudio. Esto tiene implicaciones sociales y económicas importantes, para los políticos, para establecer medidas de gestión de riesgo apropiadas.

No sobra recalcar la importancia de contar con información y de que la información sea de fácil acceso, dado que haciéndola disponible se hace conciencia de los riesgos a los cuales se está expuestos y de esta forma se incentiva a generar acciones apropiadas. Sin embargo, en la actualidad existen muchas restricciones para contar con la información idónea o cuando existe, para tener acceso a ésta, por lo que se deben dirigir los esfuerzos a corregir las políticas, que aunque los cambios no se reflejen inmediatamente, en cuanto más pronto se modifiquen más pronto se podrán ver.

Las métricas de riesgo tales como la Pérdida Máxima Probable y la Pérdida Anual Esperada de los diferentes portafolios son evaluadas edificio por edificio usando un modelo de riesgo catastrófico y teniendo en cuenta la amenaza sísmica, los efectos de sitio y la vulnerabilidad estructural de los diferentes tipos estructurales de los centros urbanos. Estas métricas son necesarias para evaluar la sostenibilidad fiscal y la vulnerabilidad de los gobiernos y son útiles para desarrollar estructuras financieras óptimas de retención y transferencia del riesgo considerando créditos contingentes, fondos de reservas, aseguramiento y reaseguramiento y bonos de catástrofe.

Una plataforma de información sobre riesgos de desastres como CAPRA que emplea metodologías de cálculo del riesgo y que es concebida como una herramienta de fuente y arquitectura abierta permite generar un sentido de apropiación sobre las necesidades relacionadas con la gestión del riesgo y de tal forma a fortalecer y consolidar la concientización y la participación en los procesos de definición de políticas y programas de desarrollo y de gestión del riesgo. El uso de una herramienta de evaluación de riesgo para establecer cuáles amenazas tienen más probabilidad de ocurrir, y cuáles serán sus efectos probables, sirve para definir las prioridades en un programa de gestión del riesgo.

Es esencial entender la razón por la cual se realiza una modelización del riesgo, y, por lo tanto un proceso de estos se debe concebir estableciendo una serie de pasos para enfocar el procedimiento hacia los objetivos que se quieren abordar:

1. Primero se debe definir cuál es o cuáles son los propósitos de la estimación del riesgo. Los factores a considerar son las políticas y acciones que se quieren definir, a que escala geográfica se desea trabajar, dado que el tipo de datos necesarios y el nivel de precisión de los cálculos varían de acuerdo con el detalle que se desee y por último el tipo de usuarios a los que se proyecta llegar: ministros, protección civil, aseguradoras, etc., los cuales serán quienes se apoyen en los resultados obtenidos de una modelización del riesgo para definir procesos de gestión del riesgo (Figura 10.1).

<b>Propósitos</b>	<b>Políticas y acciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforzamiento</li> <li>• Planificación urbana</li> <li>• Financiación del riesgo</li> <li>• Respuesta a emergencias</li> <li>• Marcos de acción</li> <li>• Indicadores</li> </ul>
	<b>Escala de toma de decisiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Global</li> <li>• Regional</li> <li>• Nacional</li> <li>• Local</li> </ul>
	<b>Usuarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministros de finanzas</li> <li>• Ministros de sectores de desarrollo (transporte, vivienda, agricultura, etc)</li> <li>• Protección civil</li> <li>• Alcaldes</li> <li>• Aseguradores</li> </ul>

Figura 10.1. Propósitos de la modelización del riesgo

2. El siguiente paso es precisar el tipo de información que se necesita para llevar a cabo las estimaciones. En este punto se debe contar con los datos del tipo de amenaza que se evalúa, la resolución de los datos tanto de la amenaza como de la exposición, la relevancia de tener datos gruesos o datos precisos y la sensibilidad que se obtendrá de acuerdo a la calidad de la información con la que se realice la modelización del riesgo. Es decir, para propósitos globales, se requiere menores detalles de información dado que los resultados que se esperan obtener no tienen que ser exactos y se pretende tener un orden de magnitud de la situación para intervenir de manera indirecta mediante marcos de acción o políticas internacionales; para niveles más altos de resolución, especialmente locales, la precisión de la información es muy importante dado que los resultados se usarán para acciones más puntuales (Figura 10.2)

<b>Información</b>	<b>Tipo de amenazas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sismos</li> <li>• Huracanes</li> <li>• Inundaciones</li> <li>• Deslizamientos...</li> </ul>
	<b>Resolución (amenaza y exposición)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Global</li> <li>• Regional</li> <li>• Nacional</li> <li>• Local</li> </ul>
	<b>Relevancia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicador grueso de condiciones de riesgo</li> <li>• Propuestas de intervención</li> </ul>
	<b>Sensibilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos más gruesos, mayor incertidumbre</li> <li>• Datos más precisos, menor incertidumbre</li> </ul>

Figura 10.2. Tipo de información para la modelización

3. De acuerdo con los propósitos se establece el tipo de metodología a utilizar. Ya sea la modelización probabilista del riesgo para definir métricas de riesgo probabilistas; enfoque determinista para obtener escenarios de pérdidas para definir soluciones en caso de respuesta a emergencias; análisis de pérdidas de eventos pequeños recurrentes para conocer el tipo de impactos que este tipo de desastres puede generar en una sociedad; evaluación holística del riesgo que se elabora con base en la modelización probabilista pero añadiendo información socio-económica del área bajo estudio para obtener indicadores del riesgo total (Figura 10.3).

<b>Metodología</b>	Modelación probabilista	<ul style="list-style-type: none"> <li>Curva de Excedencia de Pérdidas</li> <li>Pérdida Máxima Probable</li> <li>Pérdida Anual Esperada</li> </ul>
	Modelación determinista	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escenarios de pérdidas y afectados</li> </ul>
	Modelación de pérdidas de eventos pequeños	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis retrospectivo con base en información histórica</li> </ul>
	Evaluación holística	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicadores</li> </ul>

**Figura 10.3.** Definición de metodología

4. Finalmente, es muy importante tener definido cómo se comunicarán los resultados que se obtienen del uso de herramientas de modelización del riesgo. Los resultados por sí solos no dicen mucho si no se saben interpretar, por lo tanto se debe pensar a quien va a ir dirigida la información, en qué términos se les comunicará, es decir, hablar el mismo idioma y poder interpretar los resultados en términos económicos, sociales, ambientales, etc. Por otro lado promover la capacitación en las diferentes instituciones y entidades a las personas están relacionadas con el tema, para fortalecer la capacidad técnica institucional (Figura 10.4).

<b>Uso de herramientas</b>	Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cómo crear conciencia del riesgo</li> <li>Personas y sectores a los que se les informa</li> <li>Lenguaje de la información (en términos económicos, sociales, ambientales, etc.)</li> </ul>
	Capacitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talleres</li> <li>Tutoriales</li> <li>Entrenamiento</li> </ul>

**Figura 10.4.** Utilización de los resultados

Una vez se conocen y se usan herramientas como CAPRA se puede llegar a comprender totalmente la importancia de contar con buena información que son los insumos para obtener resultados idóneos en una modelización del riesgo. Además, se hace evidente la participación de los actores interesados, por lo que se debe promover su participación y aprendizaje para mejorar este tipo de herramientas de acuerdo a las necesidades y prioridades; y, para que exista una retroalimentación entre los diferentes usuarios. Por otro lado se definen los alcances de las evaluaciones con relación a las amenazas que se consideran durante el estudio, y con base en esto tener la información no sólo de las amenazas sino de la exposición en términos de las amenazas definidas para realizar la modelización. Por último, se deduce cómo se pueden usar los resultados de una modelización; es decir, que después de contar con estos, son el insumo base para diferentes tipos de aplicaciones e implementar políticas y acciones (Figura 10.5).

Dentro de los trabajos futuros se podría nombrar algunos como incluir las amenazas no estacionarias, relacionadas con el cambio climático, tener en cuenta la dinámica de la vulnerabilidad, como es sabido, la vulnerabilidad es cambiante con el tiempo, de acuerdo a los modelos de desarrollo que se sigan, el crecimiento de la población, entre otros, podría aumentar o disminuir.

<b>Resultados del uso de herramientas como CAPRA</b>	<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de contar con buena información</li> <li>• Información cualitativa y cuantitativa</li> <li>• Proxies</li> </ul>
	<b>Participación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Involucrar a los usuarios</li> <li>• Aprender para mejorar</li> <li>• Retroalimentación</li> </ul>
	<b>Alcance de la evaluación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de una sola amenaza</li> <li>• Evaluación multi-amenaza</li> <li>• Evaluación de amenazas relacionadas</li> </ul>
	<b>Cómo se pueden usar los resultados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curvas híbridas de excedencia de pérdidas</li> <li>• Análisis costo beneficio probabilistas</li> <li>• Estructuras de retención y transferencia del riesgo</li> <li>• Ordenamiento territorial</li> <li>• Escenarios para la respuesta a emergencia</li> </ul>

**Figura 10.5.** Resultado de manejar herramientas como CAPRA

## **10.6. Conclusiones sobre la estrategia de retención y transferencia del riesgo**

Las entidades encargadas de ejecutar el proceso de implementación de una estrategia de protección financiera deben tener la competencia institucional y los conocimientos sobre las fuentes de información financiera para su apropiada interpretación, de manera que se pueda lograr un criterio uniforme e idóneo de negociación que garantice los mejores resultados y el desarrollo del proceso en una forma flexible y oportuna. Para lograr una implementación satisfactoria es necesario precisar un procedimiento de comunicación y difusión de esta política mediante un instructivo donde se plantee la estrategia, explicando cómo se estiman los costos de la cobertura que le correspondería asumir a cada entidad gubernamental de su presupuesto según los inmuebles que están a su cargo y explicar los diferentes beneficios que subyacen la estrategia con el fin de sensibilizar a los directivos acerca de la importancia y eficiencia del mecanismo que se desea adoptar.

En general, para el diseño de una estrategia de protección financiera para el gobierno, bien sustentada, es necesario pensar en construir una estructura de retención y transferencia óptima, que puede llegar a tener múltiples instrumentos o mecanismos financieros y no solamente seguros y reaseguros. Las distintas capas de la estructura de retención y transferencia se establecen dependiendo de la capacidad de solvencia de cada uno de los agentes participantes y de la conveniencia en términos de costos para el gobierno de cada una de las distintas fuentes de financiamiento disponibles. Para esto es necesario que los gobiernos, a través de sus Ministerios de Hacienda, Crédito Público, Economía o Finanzas utilicen, aparte de los estudios de riesgo probabilistas, métricas y herramientas avanzadas de diseño que permitan identificar las conveniencias no solamente para los tomadores de riesgo (compañías de seguros, reaseguros o el mercado de capitales) sino para el mismo cedente, que en este caso sería el gobierno respectivo.

En resumen el proceso que se debe llevar a cabo en el momento de escoger la estructura financiera adecuada tiene los siguientes pasos:

1. Cálculo de las probabilidades de ocurrencia de pérdidas mediante modelos de riesgo catastrófico para establecer el capital necesario para financiar las pérdidas en las que se incurre.
2. Comparación entre el costo de utilización del capital del Estado y el costo de utilización de herramientas de transferencia y financiación del riesgo
3. Determinación de la combinación de instrumentos financieros y de transferencia del riesgo. Uso de algoritmos de optimización para determinar la combinación de capital, crédito, reaseguros y titularización que minimice su costo total de cubrir el riesgo de desastres.

### **10.6.1. Conclusiones de la modelización del riesgo a nivel nacional y global**

El IDD mide la pérdida económica que un país en particular puede sufrir cuando un evento catastrófico tiene lugar y las implicaciones en términos de los recursos necesarios para enfrentar la situación. Este indicador permite dimensionar de una manera sencilla la exposición fiscal y el déficit potencial (o pasivos contingentes) del país a causa de desastres extremos. Los resultados ratifican la necesidad de identificar y proponer posibles políticas y acciones efectivas de gestión de riesgos. En general, el IDD ha contribuido a lograr que en los Ministerios de Hacienda o Finanzas tengan mayor conciencia de la importancia que tiene el estimar los desastres futuros como pasivos contingentes de los gobiernos y de los bancos centrales. Como resultado del uso de este indicador varios países han incluido en sus análisis fiscales los pasivos contingentes con el fin de entender y contextualizar los riesgos fiscales a los que está expuesta cada nación.

Otros indicadores a nivel global, como los obtenidos en el *Global Risk Model* permiten reflejar el riesgo al relacionarse las métricas probabilistas con variables de flujo económico. Esto facilita dar cuenta del orden de magnitud de las pérdidas y al mismo tiempo de las implicaciones que esas pérdidas conllevan a ser significativas frente al gasto, la inversión o el ahorro de un país. Los resultados obtenidos por primera vez de este tipo de indicadores son prometedores y revelan situaciones en algunos casos notables cuando se realizan los rankings de los países. Estos indicadores son un buen punto de partida para el análisis a nivel global que sugieren mejorar la resolución y precisión con fines de mejorar el tipo de acciones que se deben implementar en el nivel nacional, subnacional y local.

### **10.6.2. Conclusiones de la modelización del riesgo a nivel urbano**

#### **10.6.2.1. Modelización probabilista del riesgo catastrófico para Manizales**

El programa de aseguramiento colectivo de Manizales, Colombia, es un instrumento innovador que se ha ido mejorando con estudios técnico científicos cuidadosos de carácter actuarial. Sin duda constituye una experiencia exitosa y es una buena práctica promovida entre el gobierno local y el sector privado.

Esta iniciativa es principalmente una acción social promovida por el gobierno local, su beneficio es claro desde la perspectiva de la sostenibilidad, prevención, bienestar socioeconómico, protección financiera y reducción de las obligaciones contingentes del gobierno. Está basado en modelos de evaluación de riesgos catastróficos, sin embargo hay que resaltar que los elementos más importantes de esta iniciativa han sido la voluntad política, la solidaridad ciudadana, la percepción del riesgo de la sociedad y del gobierno. Es una herramienta que podría ser replicada en otros lugares siempre y cuando se cuente con estudios de riesgo apropiados.

Actualmente, en este programa, la prima anual establecida con la compañía asegurada es de 2,5‰ del valor catastral de cada edificio. El deducible es del 3% del



valor de la pérdida en caso de sismo, y, para otras amenazas naturales o eventos como huelga, motín, asonada, conmoción civil o popular, actos malintencionados de terceros o terrorismo, el deducible se acordó del 10% de la pérdida de los edificios afectados. La compañía aseguradora, La póliza está disponible para revisión de cualquiera de los usuarios. Dado que el promedio de participación ha sido del orden del 12% de la población de Manizales, se ha llegado a un acuerdo entre la administración pública la compañía aseguradora para establecer, de acuerdo a esto, que todos los propietarios de bajos recursos de la ciudad estuvieran cubiertos.

#### **10.6.2.2. Modelización probabilista del riesgo de Bogotá**

Los habitantes de Bogotá, tienen un nivel de conciencia de las consecuencias que podría significar la ocurrencia de un sismo. No obstante, el porcentaje de viviendas aseguradas voluntariamente es del 16%. De acuerdo al estudio de mercado realizado para definir la factibilidad de crear un seguro como el existente en Manizales, el interés de los ciudadanos por el seguro, como concepto, es alto, sin embargo, aún no existe una cultura de prevención para reducir la posibilidad de pérdidas y daños, adicionalmente, al conocer el posible valor de la prima de aseguramiento a través de un programa de aseguramiento colectivo voluntario, es percibida muy alta lo que podría generar rechazo en el momento de implementar el seguro. A pesar de existir un rango de precios aceptables, estos no se acercan al precio aproximado promedio de prima que se esperaría se tendría que cobrar según la percepción de la gente. Por otro lado, el nivel de cobertura esperado tiende a ser más exigente en los estratos más altos, donde muy pocos propietarios estarían dispuestos a cubrir parte de su patrimonio como deducible o coaseguro inevitable de la póliza por tratarse de un valor máximo de cobertura menor que el valor comercial del inmueble, mientras que el interés en que esta póliza llegara a ser de cobro obligatorio, es mayor en los estratos más bajos de la población, donde ven con mayor impacto el beneficio colectivo que podría tener en viviendas de condiciones similares a las propias. Una campaña de sensibilización hacia este producto podría mostrar los beneficios de cubrir los inmuebles mediante un comparativo en el cual los propietarios de viviendas de la ciudad, puedan observar de una forma más didáctica, cuál sería la reducción en el impacto sobre sus finanzas si se presentara un desastre.

En los análisis la variación de la prima para los aportantes no varía significativamente cuando se incluye la prima para el subsidio de los propietarios de bajos ingresos. Especialmente para el escenario del aseguramiento obligatorio y el límite de \$15 MDP y para el escenario del aseguramiento voluntario, mientras que para los escenarios del límite de subsidio de \$20 MDP, la prima de los aportantes es más significativa. Dado que el seguro obligatorio es una alternativa poco viable en el momento, además que podría considerarse como una medida impopular porque podría verse como un nuevo impuesto, lo que podría significar un inconveniente político, la mejor alternativa sería el aseguramiento voluntario mediante la suscripción de una póliza única de aseguramiento utilizando el seguro convencional, en el cual se acuerde un subsidio cruzado o compensación que permita cubrir a un segmento importante de los propietarios de bajos ingresos.

Adicional a estas alternativas, se podrían incluir otra serie de escenarios u opciones de transferencia del riesgo como: (i) Seguro voluntario con compensación y subsidio directo y parcial del gobierno; o (ii) Seguro voluntario con compensación, subsidio y con la participación de los bienes fiscales.

Si la ciudad decidiera incluir el grupo de edificaciones públicas dentro del programa de aseguramiento colectivo de inmuebles privados o si decidiera pagar la prima de los exentos, las primas para los aportantes se podrían disminuir dependiendo de la prima con la que participe el Distrito Capital y los aportantes privados. Sin embargo la implementación de un seguro voluntario incluyendo las edificaciones públicas de la ciudad significa un proceso intenso de divulgación que permita dar claridad e ilustración de sus beneficios dado que podría tener fuertes críticas o detractores.

### **10.6.2.3. Conclusiones de la modelización probabilista del riesgo de Barcelona**

El objetivo del cálculo del riesgo para Barcelona consistió en obtener pérdidas máximas probables (curva de excedencia de pérdidas) y primas puras de riesgo (pérdida anual esperada) para el portafolio y para cada edificio de la ciudad respectivamente., para usarlos como insumos para el cálculo de la evaluación holística del riesgo. Igualmente, los resultados del análisis pueden ser útiles para orientar la gestión del riesgo en la ciudad, los resultados son relevantes para dar un orden de magnitud de las pérdidas que se podrían generar por desastres extremos y por lo tanto para una formulación de una política de protección financiera. Adicionalmente se obtuvieron escenarios de daño potencial como insumo para el desarrollo de planes de respuesta a emergencias.

Los valores de PML y PAE obtenidos para Barcelona son los principales resultados de esta aplicación. Son particularmente relevantes para diseños futuros de estrategias de retención y transferencia del riesgo. Los resultados permiten definir estrategias de protección financiera por fenómenos naturales y cubrir las obligaciones contingentes del sector público. Para propósitos de gestión, la evaluación del riesgo debería mejorar el proceso de toma de decisiones con el fin de contribuir a la efectividad de la gestión del riesgo, identificando la fragilidad de los elementos expuestos y su evolución en el tiempo. La evaluación holística requiere una perspectiva multidisciplinaria, es un enfoque integral que es útil para comunicar el riesgo y para guiar a los expertos en la identificación de zonas críticas en la ciudad. Este enfoque invita a la definición de acciones o políticas mediante la identificación de la susceptibilidad tanto física como socio-económica de los centros urbanos.

## **10.7. Recomendaciones y futuros trabajos de investigación**

En este trabajo se abordó la temática de la modelización del riesgo de desastres y de la protección financiera desde la perspectiva de los gobiernos, ilustrando que los desastres son pasivos contingentes que pueden afectar la sostenibilidad fiscal del Estado. Asimismo, expone opciones para la implementación de una estrategia de

protección financiera óptima como parte de la gestión integral del riesgo de desastres, tanto debido a eventos extremos como a eventos menores, recurrentes. El tema de la gestión financiera del riesgo de desastres y, en general, de la gestión integral del riesgo, es un tema incipiente en muchos países, especialmente en países en desarrollo. Por el enfoque de la tesis, concebido como un documento útil no sólo para la comunidad académica o científica sino también para tomadores de decisiones, y por ser un primer paso para entender y generar la disposición de adoptar medidas de gestión integral del riesgo de desastre, los objetivos de la investigación se restringieron a los temas expuestos. A continuación se presentan los posibles trabajos futuros que se pueden desarrollar a partir de los desarrollos de esta tesis:

#### **10.7.1. Levantamiento de información relevante**

Como ya se ha expuesto en el documento, si se conoce el riesgo es posible intervenirlo. Por esta razón es esencial promover la consolidación de información para la estimación de las amenazas naturales, el registro permanente y estandarizado de datos de pérdidas, que incluya todo tipo de desastres, tanto extremos como menores recurrentes y las bases de datos de elementos expuestos. Es fundamental contar con información más precisa para lograr resultados más confiables, para análisis e intervenciones posteriores como la relación beneficio-costos probabilista de la reducción del riesgo, la construcción de curvas híbridas para la estratificación del riesgo, los análisis incluyendo escenarios de cambio climático, entre otros. Se requieren técnicas innovadoras de captura y levantamiento de datos utilizando tecnologías de datos espaciales que faciliten la construcción de las bases de datos de exposición.

#### **10.7.2. Análisis relación beneficio-costos probabilista**

Desarrollar una metodología para la evaluación probabilista de medidas de mitigación del riesgo ante amenazas naturales basada en un análisis beneficio costo, usando medidas de intensidad adecuadas a los elementos expuestos bajo evaluación y al tipo de amenaza. Además considerar en el análisis los costos de implementación de las alternativas incluyendo los posibles cambios de precios y las tasas de retorno en el tiempo para el grado de aceptabilidad de cada alternativa de mitigación.

A través de los análisis beneficio-costos probabilista, incluir los beneficios de la reducción no sólo en las pérdidas directas sino en los efectos a mediano y largo plazo por la interrupción de las actividades en los diferentes sectores del desarrollo. Asimismo, exponer los resultados de los beneficios de la reducción del riesgo de acuerdo a las diferentes percepciones de los diferentes actores involucrados.

### **10.7.3. Curva híbrida y estratificación del riesgo**

Mediante el enfoque complementario del análisis de desastres menores recurrentes y el análisis probabilista de eventos extremos se obtiene la curva híbrida de excedencia de pérdidas. Mejorar la metodología de la valoración de las pérdidas por eventos menores y recurrentes y contar con mejor información permitiría refinar la metodología de la construcción de curvas híbridas. Los resultados de esta metodología facilitan la comunicación del riesgo financiero que los desastres representan. Dado que la curva representa todas las posibles consecuencias tanto por eventos de baja magnitud como de alta magnitud sería posible estratificar el riesgo, es decir, definir medidas concretas para diferentes niveles de riesgo de acuerdo a las necesidades y capacidades de cada país que se evalúe.

### **10.7.4. Incorporación del cambio climático a los modelos de evaluación del riesgo**

El cambio climático hace prever que los desastres serán más frecuentes y más intensos. Las técnicas probabilistas en general se fundamentan en modelos estacionarios que se pueden utilizar para dar cuenta del aumento de la amenaza y el riesgo en la medida que los modelos climáticos aporten información futura “en retrospectiva”. Un ejemplo de este tipo de resultados es obtener con los modelos de cambio climático las trayectorias de huracanes o lluvias hasta un año futuro definido. Esto permitiría tener las trayectorias o las series de lluvias “históricas” con las cuales los modelos probabilistas de amenaza y riesgo pueden producir resultados hipotéticos pero eventualmente realistas si se desarrollan buenas estimaciones de los escenarios futuros de exposición y vulnerabilidad. Estos últimos dos aspectos son los principales determinantes del riesgo tal como lo señala el IPCC-SREX IPCC 2012.



# Capítulo 11.

## ARTÍCULOS Y PROYECTOS RELACIONADOS CON LA TESIS

En el periodo de realización del doctorado se han publicado en revistas indexadas una serie de artículos relacionados con los temas de la tesis, se han realizado; capítulos de libros, monografías, informes científico-técnicos y se ha participado en congresos nacionales e internacionales relacionados con la ingeniería sísmica y con la evaluación y gestión del riesgo de desastres naturales. Todas las publicaciones se han realizado en conjunto con los directores de la tesis, algunos de estos artículos han sido realizados con otros profesionales involucrados en actividades y proyectos relevantes relacionados con la gestión del riesgo, en los cuales este trabajo de tesis ha contribuido desde que se inició. A continuación se presentan las principales publicaciones y los proyectos a los que se ha hecho mención:

### PUBLICACIONES

#### Artículos en revistas indexadas

Cardona, O.; Ordaz, M.; Marulanda, M.; Barbat, H. Estimation of Probabilistic seismic losses and the public economic resilience - An approach for a macroeconomic impact evaluation. *Journal of earthquake engineering*, 12(1), 60 - 70. 2008. ISSN 1363-2469

Cardona, O.; Ordaz, M.; Yamin, L.; Marulanda, M.; Barbat, H. Earthquake loss assessment for integrated disaster risk management. *Journal of earthquake engineering*, 12(1), 48 - 59, 2008 . ISSN 1363-2469

Marulanda, M.; Cardona, O.; Barbat, H. Robustness of the holistic seismic risk evaluation in urban centers using the USRi. *Natural hazards*. 49(3), 501 - 516, 2009. ISSN 0921-030X

Marulanda , M.; Cardona, O.; Barbat, H. Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. *Disasters*. 34(2), 552 - 570, 2010. ISSN 0361-3666

Cardona, O.; Ordaz, M.; Marulanda, M.; Carreño, M.L.; Barbat, H. Disaster risk from a macroeconomic perspective: a metric for fiscal vulnerability evaluation. *Disasters* 34(4), 1064 -1083, 2010. ISSN 0361-3666

Barbat, H.; Carreño, M.L.; Pujades, L.; Lantada, N.; Cardona, O.; Marulanda, M. Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas: a review with application to a pilot area. *Structure and infrastructure engineering*. 6(1-2), 17 - 38. 2010, ISSN 1573-2479

Barbat, H.; Carreño, M.L.; Cardona, O.; Marulanda, M. Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*. 27(1), 3 -27. 2011. ISSN 0213-1315

Adicionalmente, en el momento de entrega de esta tesis se encuentran en fase de revisión dos artículos en el *Journal of Natural Hazards (NAHAZ)*, uno sobre el cálculo del riesgo y el diseño del seguro colectivo de Manizales y otro sobre la evaluación probabilista del riesgo de Barcelona. De estos artículos ya se han atendido los comentarios y observaciones de los revisores pares.

### Capítulos de libros

Marulanda, M.; Cardona, O.; Barbat, H; Alex. Revealing the Impact of Small Disasters to the Economic and Social Development. Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security. Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks.5, 575 - 584. Springer-Verlag, 2011.

Carreño, M.L.; Cardona, O.; Marulanda, M.; Barbat, H. Holistic urban seismic risk evaluation of megacities: application and robustness. The 1755 Lisbon earthquake: revisited. 167 - 183. Springer, 2009. ISBN 978-1-4020-8608-3

Carreño, M.L.; Cardona, O.D.; Marulanda, M.C.; Barbat, A.H. Holistic Urban Seismic Risk Evaluation of Megacities: Application and Robustness. (Ed.) Mendes-Victor, L.A. pp. 167 - 183. Heidelberg: Springer, 2009.

Actualmente, también se encuentra en proceso de edición un libro sobre el proyecto MOVE, que se menciona más adelante, en el cual se incluye una capítulo acerca del cálculo probabilista del riesgo sísmico de Barcelona y su aplicación para la estimación holística del riesgo, utilizando indicadores.

### Monografías

Marulanda, M.; Cardona, O.; Ordaz, M.; Barbat, H. 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.

Cataluña (España): International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), 15/05/2008. ISBN 978-84-96736-60-3

Cardona, O.; Marulanda, M. Mecanismos Financieros, Seguro y Reaseguro contra Desastres Naturales en América Latina y el Caribe: Experiencias Recientes. Secretaría Permanente del Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe, SELA. Secretaría Permanente del Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe, SELA, 2010.

## PROYECTOS

Proyecto nacional HABITAT 2030: Desarrollo de Nuevas Tecnologías en Materiales y procesos de fabricación de componentes orientados a su integración en edificios.

*Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe (MOVE)*, proyecto europeo en el marco de la convocatoria FP7. Se contribuyó con el desarrollo del caso de estudio de Barcelona, aportando la evaluación del riesgo sísmico de la ciudad utilizando métricas probabilistas.

Estimación del impacto de los desastres menores y recurrentes a nivel local desde una perspectiva nacional: Análisis para Colombia como ejemplo ilustrativo. Desarrollado en el marco de la iniciativa ProVention del UN-ISDR.

Diseño e implementación de un instrumento colectivo de transferencia de riesgo de desastre para el aseguramiento de propietarios de bajos recursos mediante subsidios cruzados en Manizales, Colombia. Desarrollado en el marco de la iniciativa ECOPOLIS del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, (IDRC) de Canadá.

*Global Assessment Report of Disaster Risk Reduction GAR 2009, GAR2011 y GAR2013* de la UNISDR. Contribuciones relacionadas con la evaluación del riesgo intensivo y extensivo, la modelación del riesgo de desastres y el perfil de riesgo de países.

*Central America Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)* desarrollado para el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y la UN-ISDR. Contribuciones relacionadas con la estratificación del riesgo de desastres utilizando la curva de excedencia de pérdidas.

Proyecto de Indicadores de Riesgo de Desastres y Gestión del Riesgo para las Américas, desarrollado en varias fases para el Banco Inter-Americano de Desarrollo, En este proyecto se aportaron trabajos relacionados con el evaluación de los índices IDL e IDD para los siguientes países: Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay.



Perfiles de riesgo catastrófico y recomendaciones de protección financiera frente a desastres para los Ministerios de Hacienda, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial de los siguientes países: Bolivia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Perú,

Implementación de mecanismos de aseguramiento de los inmuebles propiedad de la Nación que permitan su protección financiera frente al riesgo catastrófico. Realizado para el Ministerio de Hacienda de Colombia el Banco Mundial.

Diseño de un instrumento de aseguramiento colectivo para las propiedades privadas y para cubrir a los propietarios de bajos recursos mediante subsidios cruzados. Realizado para la Secretaría de Hacienda de la ciudad de Bogotá, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Agencia Colombiana de Cooperación Técnica y el Banco Mundial.

Responsabilidades del gobierno, su exposición a desastres naturales y diseño de mecanismos para cubrir el riesgo residual del gobierno. Realizado para el Departamento Nacional de Planeación y el Banco Mundial. Contribución con el "Estudio de los pequeños desastres ocurridos en Colombia desde 1970: Estimación de las pérdidas y cuantificación de costos".

## REFERENCIAS

- AIS-300 C (1996) Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Colombia.
- AIS (2010) Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Cosntrucciones Sismo Resistentes. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirrección del Sistema Habitacional. República de Colombia. , Bogotá D.C., Colombia.
- Albala-Bertrand JM (1993) The Political Economy of Large Natural Disasters With Special Reference to Developing Countries. Clarendon press, Oxford.
- Alcántara FM (2002) La Cobertura de Riesgos Catastróficos desde la Óptica de la Solvencia de las Entidades Aseguradoras: La Función del Reaseguro Tradicional y sus Alternativas. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Allais M (1953) Le comportement de l'homme rationnel devant le risque: critique des postulats et axiomes de l'école américaine. *Econometrica* 21:503-546.
- Ambraseys NN, Simpson KA, Bommer JJ (1996) Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 25 (4):371-400.
- Andersen TJ (2002) Innovative Financial Instruments for Natural Disaster Risk Management. Technical paper. Inter-American Development Bank.
- Andersen TJ (2004) Managing Economic Exposures of Natural Disaters: Analyzing Applications of Risk Financing Techniques. Inter-American Development Bank Board of Governors Proceedings of the meeting.
- Annan K (1999) Facing the humanitarian challenge: Towards a culture of prevention. Secretary - General of the United Nations, New York.
- Applied Technology Council A (1996) ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. vol 1. Seismic Safety Commision.
- Arámbula S, Ordaz MG, Yamin LE, O.D. C (2001) Evaluación de pérdidas por sismo en Colombia: Aplicación a la industria asaeguradora. Paper presented at the VIII Seminario Internacional y Primer Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Bogotá, D.C., Colombia.
- ASTM (1999) Standard Guide for the Estimation of Building Damageability in Earthquakes. vol Standard E2026-99 ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ATC (1985) Earthquake Damage Evaluation Data for California. ATC-13 (FEMA). 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.
- Banks E (2004) Alternative Risk Transfer: Integrated Risk Management Through Insurance, Reinsurance, and the Capital Markets. John Wiley & Sons.

- Barbat AH, Carreño ML, Cardona OD, Marulanda MC (2011) Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 27 (1).
- Barreiro M (2006) Cambio de normas sísmicas y confiabilidad estructural. In: Grases J. (ed) *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio. Guía para la Prevención de Gestión de Riesgos*. Caracas.
- Benson C (1997a) The economic impact of natural disaster in Fiji. Overseas Development Institute, London.
- Benson C (1997b) The economic impact of natural disasters in Vietnam. Overseas Development Institute, ODI, London.
- Benson C (1997c) The economic impact of natural disasters in the Philipines. Overseas Development Institute, ODI, London.
- Benson C, Twigg J (2004) Methodologies for assessing and natural hazards risk and the benefits of mitigation - a scoping study. Provention Consortium, Geneve.
- Bommer J, Spence R, Pinho R (2006) Earthquake Loss estimation Models: Time to open the Black Boxes? . Paper presented at the Frst European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Ginebra, Suiza.
- Cardenas V, Hochrainer S, Mechler R, Pflug G, Linnerooth-Bayer J (2007) Sovereign financial disaster risk management: The case of Mexico. *Environmental Hazards* 7 (1):40-53.
- Cardona OD (1985) Hazard, Vulnerability Analysis and Risk Assessment. Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology IZIIS, Skopje.
- Cardona OD (1986) Enfoque Metodológico para la Evaluación de la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico. Paper presented at the Seminario Nacional sobre Prevención y Manejo de Catástrofes Naturales, Medellin.
- Cardona OD, Hurtado JE (2000) Holistic seismic risk estimation of a metropolitan center. Paper presented at the 12th World Conference of Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- Cardona OD (2001) Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Cardona OD (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 OD (2003) 5 años de las normas NSR-98. vol Boletín No. 60. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Bogotá, DC.
- Cardona OD (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 OD (2005) Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean, Summary Report Banco Interamericano de Desarrollo, BID, Manizales.
- Cardona OD, Lavell AM, Mansilla E, Moreno AM (2005a) Avances en las estrategias de desarrollo institucional y sostenibilidad financiera de la gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe. diálogo Regional de Política sobre

- Prevención de Desastres. Banco Interamericano de Desarrollo, BID, Washington.
- Cardona OD, Ordaz MG, Moreno AM, Yamin LE (2005b) Obligaciones contingentes del Estado por desastre, requerimiento de recursos y posibilidades de asignación. Informe del estudio sobre definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado. ACCI-DNP, Banco Mundial.
- Cardona OD, Ordaz MG, Marulanda MC, Barbat AH (2008a) Fiscal Impact of future earthquakes and country's economic resilience evaluation using the disaster deficit index. Paper presented at the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Cardona OD, Ordaz MG, Marulanda MC, Barbat AH (2008b) Estimation of Probabilistic Seismic Losses and the Public Economic Resilience—An Approach for a Macroeconomic Impact Evaluation. *Journal of Earthquake Engineering* 12 (sup2):60-70.
- Cardona OD, Ordaz MG, Yamin LE, Arámbula S, Marulanda MC, Barbat AH (2008c) Probabilistic seismic risk assessment for comprehensive risk management: modeling for innovative risk transfer and loss financing mechanisms. Paper presented at the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Cardona OD, Ordaz MG, Yamin LE, Marulanda MC, Barbat AH (2008d) Earthquake Loss Assessment for Integrated Disaster Risk Management. *Journal of Earthquake Engineering* 12 (sup2):48-59.
- Cardona OD (2009) La gestión financiera del riesgo de desastres: Instrumentos financieros de retención y transferencia para la comunidad Andina. Lima.
- Cardona OD, Marulanda MC (2010a) Mecanismos Financieros, Seguro y Reaseguro contra Desastres Naturales en América Latina y el Caribe: Experiencias Recientes. Secretaría Permanente del Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe, SELA, Caracas.
- Cardona OD, Ordaz MG, Reinoso E, Yamin LE, Barbat AH (2010b) Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA): International Initiative for Disaster Risk Management Effectiveness. Paper presented at the Proceedings of 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia.
- Cardona OD, Ordaz MG, Reinoso E, Yamin LE, Barbat AH (2010c) Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA): International Initiative for Disaster Risk Management Effectiveness. 14th European Conference on Earthquake Engineering. Ohrid, Macedonia.
- Cardona OD, Marulanda MC, Velásquez CA, Barbat AH (2012a) Earthquake Loss Assessment for Evaluation of the Sovereign Risk and Financial Sustainability of Countries: Economic Impacts, Fiscal Responsibilities and Contingent Liabilities. Paper presented at the 15 World Conference on Earthquake Engineering, 15WCEE, , Lisboa, Portugal.
- Cardona OD, Ordaz MG, Reinoso E, Yamin LE, Barbat AH (2012b) Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA): International Initiative for Disaster Risk Management Effectiveness. Paper presented at the

- Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal.
- Carreño ML (2006) Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain.
- Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2007a) A disaster risk management performance index. *Natural Hazards* 41 (1):1-20.
- Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2007b) Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach. *Natural Hazards* 40 (1):137-172.
- CCRIF (2012) Understanding CCRIF's Hurricane and Earthquake Policies. Technical Paper Series #1. The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility, CCRIF.
- CEDERI (2002) Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales. Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles, Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- CEDERI (2005) Estrategia para transferencia, retención, mitigación del riesgo sísmico en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad del Distrito Capital. . Informes preparados para el DNP, ACCI y el Banco Mundial. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- CEPAL (1999) Manual for estimating the socio-economic effects of natural disasters. United Nations, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago de Chile.
- CEPAL (2003) Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres.
- CEPAL, GTZ (2005) Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas siconaturales. Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Cid J, Susagna T, Goula X, Chavarria L, Figueras S, Fleta J, Casas A, Roca A (2001) Seismic Zonation of Barcelona Based on Numerical Simulation of Site Effects. *Pure and Applied Geophysics* 158 (12):2559-2577.
- CIMNE, INGENIAR, ITEC, EAI (2013a) Estimación de la amenaza y el riesgo probabilista por vientos huracanados en Guatemala, incorporando el impacto asociado al cambio climático. Informe de Consultoría para SE-CONRED y el BID. Bogotá, D.C., Colombia.
- CIMNE, INGENIAR, ITEC, EAI (2013b) Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: Global Risk Model. Global Earthquake and Cyclones Models and Disaster Risk Assessment of Countries for Seismic Cyclone and Flood Hazards. . Report for the GAR2013 of UN--ISDR. Ginebra, Suiza.
- CIMNE, INGENIAR, ITEC, EAI (2013c) Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Economic Valuation of Disaster Consequences Using the DesInventar Database of 23 Countries. Implementation of Case Studies Phase 1B: Bolivia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Peru and Venezuela. . Report for the GAR 2013 of UN-ISDR, Geneva. Ginebra, Suiza.
- Corsanego A (1985) A Review of Methodologies for Seismic Vulnerability Assessment. Paper presented at the International Conference on Reconstruction,

- Restauración and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje, Yugoslavia.
- Cummins JD (2008) CAT bonds and other risk-linked securities: State of the market and recent developments. *Risk Management and Insurance Review* 11 (1):23-47.
- Cummins JD, Mahul O (2009) *Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention*. World Bank.
- DFID (2006) *Reducing the risk of disasters - helping to achieve sustainable poverty reduction in a vulnerable world: A DFID policy paper*. Department for International Development, Glasgow, UK.
- DNP (2005) *Apoyo a la formulación y estructuración del programa de reducción de la vulnerabilidad del Estado frente a desastres naturales*. Bogotá, Colombia.
- Dodo A, Xu N, Davidson R, Nozick L (2004) *Optimizing the selection of regional earthquake mitigation strategies*. Paper presented at the 13th World Conference of Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- Doherty NA (2000) *Integrated Risk Management: Techniques and Strategies for Managing Corporate Risk*. McGraw-Hill.
- EERI (1997) *Loss Estimation*. *Earthquake Spectra* 13 (4).
- EERI (2000) *Financial management of earthquake risk*. Earthquake Engineering Research Institute. Endowment Subcommittee on Financial Risk Management.
- EIRD (2001) *Natural disasters and sustainable development: Understanding the links between development, environment and natural disasters*. International Strategy for Disaster Reduction, United Nations.
- EIRD (2009) *Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres*. Estrategia Internacional de Reducción de los Desastres, Naciones Unidas, Ginebra, Suiza.
- EIRD/ONU (2011) *Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres: Revelar el riesgo, replantear el desarrollo*. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, Ginebra, Suiza.
- Ekeland I (1992) *Al azar: la suerte, la ciencia y el mundo*. Gedisa.
- Elms DG (1992) *Risk Assessment*. In: Blockley D (ed) *Engineering Safety*. MacGraw-Hill International Series in Civil Engineering, Londres, pp 28-46.
- ERN-AL (2010) *CAPRA, Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment*. <http://www.ecapra.org/>. Accessed 02/05/2012
- ERN-AL (2011) *Probabilistic modelling of disaster risk at global level: Development of a methodology and implementation of case studies. Phase 1A: Colombia, Mexico, Nepal*. Background paper prepared for the 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Prepared by the Consortium Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina. UNISDR, Geneva, Switzerland.
- ERN-Colombia (2005) *Definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado*. Informes preparados para el Departamento Nacional de Planeación (DNO), Agencia Colombiana de Cooperación Internacional (ACCI) y el Banco Mundial. Bogotá, Colombia.
- ERN-Colombia (2006) *Estimación de pérdidas económicas para diferentes escenarios de riesgo en edificaciones públicas y privadas en Bogotá y análisis económico del riesgo residual en el Distrito Capital de Bogotá*. Informes preparados para

- la Secretaría de Hacienda Distrital, el FONADE, el MAVDT y el Banco Mundial. Bogotá, Colombia.
- Esteva L (1970) Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fasecolda (2011) Revista Fasecolda, No. 140. Bogotá, Colombia.
- FEMA (1997a) NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. FEMA publication 274. Washington D.C.
- FEMA (1997b) NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA Publication 273. Washington, D.C.
- FEMA (1999) Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS, Technical Manual, Vol. I, II and III, First Edition 1997, Multi-Hazard version 2004. National Institute of Buildings Sciences for Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA (2004) FEMA 389, Communicating with Owners and Managers of New Buildings on Earthquake Risk: A Primer for Design Professionals.
- Fernández JJ, Gregorio MM (2005) Valoración actuarial de bonos catastróficos para desastres naturales en México. El Trimestre Económico 72 (288).
- Freeman PK, Mechler R (2001) Public Sector Risk Management in Mexico for Natural Disaster Losses. Paper presented at the Conferencia Wharton – Banco Mundial. Facultad de Manejo de Desastres, Mexico.
- Freeman PK, Martin LA, Linnerooth-Bayer J, Mechler R, Pflug G, Warner K (2002a) Disaster Risk Management: National Systems for the Comprehensive Management of Disaster Financial Strategies for Natural Disaster Reconstruction, SDD/IRPD. Diálogo Regional de Política, Banco Interamericano de Desarrollo. Washington D.C.
- Freeman PK, Martin LA, Mechler R, Warner K (2002b) Catastrophes and Development: Integrating Natural Catastrophes into Development Planning. Disaster Risk Management Working Paper Series No. 4. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Freeman PK, Keen M, Mani M (2003) Dealing with increased risk of natural disasters: challenges and options. vol n.º 2003-2197. International Monetary Fund, Fiscal Affairs Dept.
- Freeman PK, Martin LA, Mechler R, Warner K (2004) A methodology for incorporating natural catastrophes in to macroeconomic projections. Disaster Prevention and Management 13 (4):337-342.
- Froot K (2001) The market for catastrophe risk: a clinical examination. National Bureau of Economic Research.
- Gallego M (2000) Estimación del riesgo sísmico en la república de Colombia. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Gallego M (2001) Diseño sísmico por desempeño en Colombia. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes 13.
- Ganderton PT (2004) Benefit - Cost Analysis Of Disaster Mitigation: A Review. Economics Department, University of New Mexico.
- GAO (2002) Catastrophe insurance risk: The role of risk-linked securities and factors affecting their use. Report to the chairman, Committee on Financial Services, House of Representatives. No.02-941. United States General Accounting Office.

- Ghesquiere F, Mahul O (2007) Sovereign Natural Disaster Insurance For Developing Countries A Paradigm Shift In Catastrophe Risk Financing. World Bank, Washington, D.C.
- Ghesquiere F, Mahul O (2010) Financial protection of the state against natural disasters: A primer. Policy Research working paper. Sustainable Development Network, World Bank, Washington, D.C.
- Grossi P, Kunreuther H (2005) Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk. Catastrophe Modeling, vol 25. Springer US, Boston.
- Gurenko E, Lester R, Mahul O, Gonulal S (2006) Earthquake Insurance in Turkey. History of the Turkish Catastrophe Insurance Pool. The World Bank, Washington, D.C.
- Hofman D, Brukoff P (2006) Insuring public finances against natural disasters. A survey of options and recent initiatives. IMF Working Paper 199.
- Hogarth RM, Kunreuther H (1995) Decision making under ignorance: Arguing with yourself. Journal of Risk and Uncertainty 10 (1):15-36.
- IBC (2000) International Code Council. International Building Code.
- ICC/CIMNE (2004) An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. WP08 Application to Barcelona. RISK-UE Project. Barcelona.
- IDEA (2005) System of Indicators for Disaster Risk Management: Program for Latin American and the Caribbean, Main Technical Report. Manizales.
- INGENIAR, ITEC (2005) Sistema de Información Sísmica de Manizales. Versión Riesgo.
- IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). . Cambridge University Press, Cambridge, UK, y New York, NY, USA.
- ITEC (2004) Sistema de Información Sísmica de Manizales – SISMan.
- Kunreuther H, Richard J. Roth S, book AJHP (1998) Paying the Price: The Status and Role of Insurance Against Natural Disasters in the United States. National Academies Press.
- Kunreuther H, Grossi P, Seeber N, Smyth A (2001) A framework for evaluation the cost-effectiveness of mitigation measures. Paper presented at the Urban risk management for natural disasters. Bogazici University/Columbia University Workshop, Istanbul, Turkey.
- Kunreuther H, Pauly M (2005) Insurance decision-making and market behavior. Foundation and trends in Macroeconomics 1 (2):63-127.
- 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.
- Kydland FE, Prescott EC (1977) Rules Rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans. Journal of Political Economy 85 (3):473-491.
- Lantada N (2007) Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain.



- Lavell AM (2003) Del concepto de riesgo y su gestión al significado y formas de la intervención social. COPASA-GTZ/ Proyecto Gestión de Riesgo de Desastres Naturales. Arequipa.
- Lewis C, Davis P (1998) Capital market instruments for financing catastrophe risk: New directions? *Journal of Insurance Regulation* 17 (2).
- Linnerooth-Bayer J, Mechler R, Pflug G (2005) Refocusing Disaster Aid. *Science* 309 (5737):1044-1046.
- Mahul O (2011) Catastrophe Risk Insurance Pools: Opportunities and Challenges for the Mexican States. Paper presented at the Seminario sobre Modelos de Gestión Financiera del Riesgo de Desastres para las Entidades Federativas en México, México, D.F.
- Marulanda MC, Cardona OD (2006) Análisis del impacto de desastres menores y moderados a nivel local en Colombia. ProVention Consortium.
- Marulanda MC, Cardona OD, Ordaz MG, Barbat AH (2008a) 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, Spain.
- Marulanda MC, O.D. C, A.H. B (2008b) The Economic and Social Effects of Small Disasters: Revision of the Local Disaster Index and the Case Study of Colombia. Megacities: Resilience and Social Vulnerability. Source N°.10. Bohle, H.G., Warner, K. (Eds.), United Nations University (EHS), Munich Re Foundation, Bonn.
- Marulanda MC (2009) Design and implementation of a collective disaster risk transfer instrument for the insurance coverage of low-income homeowners by cross-subsidies in Manizales, Colombia : technical report. ECOPOLIS Graduate Research and Design Competition (Global). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, CO.
- Marulanda MC, Cardona OD, Barbat AH (2010) Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. *Disasters* 34 (2):552-570.
- Marulanda MC, Cardona OD, Barbat AH (2011) Revealing the Impact of Small Disasters to the Economic and Social Development. In: H. G. Brauch ÚOS, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, et al. (ed) *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security*, vol 5. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 575-584.
- Maskrey A, Latina RdESePdDeA (1996) Terremotos en el trópico húmedo: La gestión de los desastres del Alto Mayo, Perú(1990 y 1991), Limón, Costa Rica(1991), y Atrato Medio, Colombia(1992). La Red.
- Mechler R (2004) *Natural Disaster Risk Management and Financing Disaster Losses in Developing Countries*. Verlag Versicherungswirtschaft.
- Mechler R (2005) Análisis Costo-Beneficio en la gestión del riesgo de desastres naturales en países en desarrollo y emergentes. Agencia de Cooperación Técnica Alemana - GTZ, Lima.
- MHCP (2012) Estrategia financiera para disminuir la vulnerabilidad fiscal del Estado ante la ocurrencia de un desastre natural. Bogota.

- Miranda E (1997) Estimation of maximum interstory-drift demands in displacement-based design. Paper presented at the Seismic design methodologies for the next generation of codes, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Miranda E (1999) Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings. *Journal of Structural Engineering* 125 (4):417-425.
- Moench M, Mechler R, Stapleton S (2007) Guidance note on the costs and benefits of disaster risk reduction. ISDR High Level Platform of Disaster Risk Reduction.
- Mora MG, Ordaz MG, Yamin LE, O.D C (2009) Relaciones Beneficio Costo Probabilistas del Refuerzo Sísmico de Edificios. Paper presented at the IV Congreso Colombiano de Ingeniería Sísmica Pereira, Colombia.
- Mouroux P, Bertrand M, Bour M, Brun BL, Depinois S, Masure P, Team R-U (2004) The European Risk-UE Project: an advanced approach to earthquake risk scenarios. Paper presented at the 13th World Conference Earthquake Engineering, Vancouver B.C., Canada.
- NCSE-02 (2002) Norma de Construcción Sismorresistente Española. Parte General y de Edificación, Comisión Permanente de Normas Sismorresistente vol Real Decreto 997/2002 del 27 de septiembre de 2002, Boletín Oficial del Estado nº 244, viernes 11 de octubre de 2002.
- Oliver-Smith A, Hoffman SM (1999) *The Angry Earth: Disaster in Anthropological Perspective*. Routledge.
- Ordaz MG, Miranda E, Reinoso E, Pérez-Rocha LE (1998) Seismic Loss Estimation Model for México City. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF., México.
- Ordaz MG, Reyes C (1999) Seismic Hazard in Mexico City: observations vs. computations. *Bulletin of the Seismological Society of America* Vol. 89 (No.5.).
- Ordaz MG (2000) Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico Enfocada a la Gerencia de Seguros por Terremoto. . Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Ordaz MG, Santa-Cruz S (2003) Computation of physical damage to property due to natural hazard events. IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management. National University of Colombia, Manizales.
- Ordaz MG, Aguilar A, J. A (2007) CRISIS2007 - Program for computing seismic hazard. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México, D.F. México.
- Pérez C, Navas V, Salazar J (2004) Pasivos contingentes: ¿Cuánto son y dónde están? Consejo Superior de Política Fiscal - CONFIS. Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Colombia.
- Pérez Maldonado S (2010) SHCP-México: Estrategia Integral de Administración de Riesgos del Gobierno Federal. Seminario Regional sobre Inversión Pública y Mecanismos Financieros, Seguros y Reaseguros contra Desastres en América Latina y el Caribe: Experiencias Recientes. Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe, SELA, México D.F.
- Polackova H (1999) Pasivos contingentes del Estado: Un riesgo fiscal oculto. *Finanzas y Desarrollo* 36 (1):46-49.
- Pollner JD (2001) Managing catastrophic disaster risks using alternative risk financing and pooled insurance structures. Technical paper ; no. WTP 495 World Bank.

- Porter KA, Scawthorn CR (2007) OpenRisk: Open Source Risk Estimation Software. The Alliance for Global Open Risk Assessment (AGORA).
- Público MdHyC (2011) Contingent Liabilities: The Colombian Experience. Bogotá, D.C.
- Roa D (2010) Desastres naturales y vulnerabilidad fiscal. Contingentes y riesgos ocultos para Colombia. Universidad Externado de Colombia, Bogotá.
- Schade C, Kunreuther H, Kaas KP, Koellinger P (2008) Explaining the low-probability insurance puzzle: Experimental evidence for a two-stage decision. Wharton School, University of Pennsylvania, PA, USA, Humboldt-Universität zu Berlin, Germany, and Erasmus-Universiteit Rotterdam, The Netherlands.
- SEAOC (1995) Vision 2000. A framework for performance based engineering. Structural Engineers Association of California, California.
- Secanell R, Goula X, Susagna T, Fleta J, Roca A (2004) Seismic hazard zonation of Catalonia, Spain, integrating random uncertainties. *Journal of Seismology* 8 (1):25-40.
- Seguros CdCd (2008) La cobertura aseguradora de las catástrofes naturales. Diversidad de sistemas. Madrid.
- Sen A (2000) Desarrollo y libertad. Planeta.
- Smyth AW, Altay G, Deodatis G, Erdik MO, Franco G, Gulkan P, Kunreuther HC, Luy H, Mete E, Seeber N, Yuzugullu O (2004) Probabilistic benefit-cost analysis for earthquake damage mitigation: evaluating measures for apartment houses in Turkey. *Earthquake Spectra*.
- SwissRe (1996) Insurance Derivatives and Securitization: New Hedging Perspectives of the U.S. Catastrophe Insurance Market? *Sigma (Zurich)* 5.
- Tversky A, Shafir E (1992) Choice under conflict: The dynamics of deferred decision. *Psychological science* 3 (6):358-361.
- UNDP (2001) Disaster profiles of the least developed countries. Report for Third United Nations Conference on Least Developed Countries. United Nations Development Program, Bruselas, Ginebra.
- UNDRO (1980) Natural Disasters and Vulnerability Analysis. UN-Disaster Relief, Ginebra, Suiza.
- UNISDR (2009) GAR 2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate. United Nations, Ginebra, Suiza.
- UNISDR (2011) Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations, Ginebra, Suiza.
- UNISDR (2013) Global Assessment Report for Disaster Risk Reduction. United Nations, Ginebra, Suiza.
- Valcarcel JA (2013) Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Vargas JE (2002) Políticas Públicas para la Reducción de la Vulnerabilidad Frente a los Desastres Naturales y Socio-naturales. Naciones Unidas, CEPAL, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos.
- Veloso R (2008) Good Practices in Fiscal Risk: Disclosure International Experience. International Monetary Fund, IMF.
- Whitman RV (1973) Damage Probability Matrices for Prototype Buildings. Structures Publication, 380, Department of Civil Engineering, MIT

- Whitman RV, Reed JW, Hong ST (1973) Earthquake Damage Probability Matrices. Paper presented at the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Roma, Italia.
- Wiesner E (1982) El Origen Político del Desequilibrio Fiscal Colombiano. Memoria de Hacienda, 1981-1982. Banco de la República, Bogotá.
- Woo G (1999) The Mathematics of Natural Catastrophes. Imperial College Press.
- World Bank (2012) The Sendai Report: Managing Disaster Risks for a Resilience Future. GFDRR.
- Yamin LE, Ghesquiere F, Cardona OD, Ordaz MG (2013) Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: El caso de Bogotá. Banco Mundial, Universidad de los Andes.
- Zimmer A, Schade C, Gründl H (2009) Is default risk acceptable when purchasing insurance? Experimental evidence for different probability representations, reasons for default, and framings. *Journal of Economic Psychology* 30 (1):11-23.
- Zimmerli P (2003) Las catástrofes naturales y el reaseguro. SwissRe.



## Anexo A

# TERMINOLOGÍA ESPECÍFICA SOBRE RETENCIÓN Y TRANSFERENCIA DEL RIESGO

*Ambigüedad:* En términos de riesgo se refiere a una situación en la cual existe una alta incertidumbre en relación con la probabilidad de ocurrencia de una pérdida específica y su magnitud. Es decir, cuando el riesgo no está bien especificado.

*Amenaza sísmica:* Es una descripción probabilista del tamaño y frecuencia de ocurrencia de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés. Usualmente se cuantifica en términos de probabilidades de excedencia de valores de la aceleración horizontal del terreno en un lapso de tiempo determinado.

*Amplificación de ondas sísmicas:* Es el aumento en la amplitud de las ondas sísmicas, producido por su paso desde la roca hasta la superficie del terreno, a través de los estratos del perfil de suelo.

*Attachment point:* Corresponde al valor acordado a partir del cual se inicia la transferencia de la pérdida de una capa o del total del contrato de transferencia del riesgo. También se le conoce como la prioridad.

*Cautiva:* Mecanismo que es usado para facilitar el autoseguro/reaseguro, la financiación o la transferencia del riesgo; una cautiva es usualmente constituida como una compañía de seguros o reaseguros con licencia y puede ser controlada por un solo propietario o varios (patrocinadores).

*Coaseguro:* corresponde a la participación porcentual del asegurado en el riesgo o, expresado en otros términos, se refiere al porcentaje de retención del riesgo por parte del asegurado.

*Crédito contingente:* Línea de crédito que se arregla con anterioridad de una pérdida y que se establece cuándo uno o varios eventos disparadores ocurren; a diferencia del crédito tradicional esta línea de crédito está definida de tal forma que sólo se desembolsa para cubrir las pérdidas que se presentan una vez a ocurrido un evento definido previamente.

*Cedente:* parte que trasfiere, o cede, el riesgo a otra parte: también conocido como el asegurado o beneficiario.

*Coaseguro pactado:* Es la proporción del valor asegurado del riesgo que es asumido por el asegurado.

*Colocaciones facultativas por capas:* Son colocaciones donde las responsabilidades de la compañía de seguros y el reasegurador dependen de las condiciones establecidas en cada caso

*Deducible:* Es el valor acordado hasta el cual la parte asegurada debe cubrir la primera porción de la pérdida, es decir hasta la primera prioridad o *attachment point*. Se refiere a un valor expresado en términos porcentuales de la suma asegurada.

*Disparador:* Circunstancia, umbral o barrera en un contrato de transferencia que determina si un evento se ha presentado. Los disparadores fijos usualmente no impactan el valor del contrato, sólo indican si un contrato se debe pagar.

*Disparador índice:* Circunstancia definida en un título o bono vinculado a un contrato de seguros donde la suspensión de los intereses y/o del capital principal ocurre cuando el valor de un índice reconocido de una tercera parte alcanza cierto umbral.

*Disparador paramétrico:* Circunstancia definida en un título o bono vinculado a un contrato de seguros donde la suspensión de los intereses y/o del capital principal ocurre cuando un indicador de daño específico alcanza cierto valor.

*Elemento o miembro estructural:* Componente del sistema estructural de la edificación.

*Elemento o miembro no estructural:* Componentes que no hacen parte del sistema estructural de la edificación, tales como fachadas y muros divisorios de mampostería no reforzada. (Esta definición puede entrar en contradicción con lo que, para fines de ajuste de pérdidas, se considera parte de la estructura. Para fines de ajuste, es parte de la estructura todo lo que no se puede quitar, digamos, en una mudanza. Entonces, las fachadas son consideradas parte de la estructura para estos fines).

*Estructura:* Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales.

*Exhaustion point:* Corresponde al límite de responsabilidad de una capa de transferencia de pérdidas.

*Fuerzas sísmicas:* Son los efectos inerciales causados por la aceleración del sismo, expresados como fuerzas para el análisis de la estructura.

*Indemnización:* Valor que se paga para cubrir las pérdidas reales que ha experimentado un cedente. Implica la cuantificación de dichas pérdidas mediante un proceso de ajuste.

*Límite agregado:* Es el valor total de indemnización máximo que asumen los reaseguradores como parte de las condiciones de la colocación, durante el periodo de vigencia del reaseguro.

*Límite de responsabilidad:* corresponde al valor límite que asume la aseguradora o el reasegurador para la cobertura de daños. Puesto que se trata de la pérdida máxima para la institución o sociedad mutualista de seguros, esta cantidad debe ser menor o igual a la suma asegurable.

*Microzonificación sísmica:* División de una región o de un área urbana en zonas más pequeñas, que presentan un cierto grado de similitud en la forma como responden a los movimientos sísmicos, dadas las características de los estratos del perfil de suelo.

*Pérdida máxima probable (PML en inglés):* Es un estimador del tamaño de las pérdidas máximas que sería razonable esperar en un portafolio de edificaciones durante la ocurrencia de un evento extremo. Corresponde a la pérdida promedio que ocurriría para un periodo de retorno determinado. Se utiliza como dato fundamental para determinar el tamaño de las reservas que se deben mantener.

*Perfil de suelo:* Son los diferentes estratos de suelo existentes desde la superficie del terreno hasta alcanzar el nivel de roca. El perfil de suelo existente debajo del sitio de la edificación determina sus condiciones de amenaza sísmica local.

*Periodo de retorno, Tr:* Es el inverso de la tasa de excedencia de pérdidas y representa el intervalo medio de tiempo en el que se espera al menos una vez la ocurrencia de una pérdida dada.

*PMP:* Es el porcentaje de pérdidas esperado de una cartera, correspondiente a un periodo de retorno dado. El PMP se obtiene de la función de pérdida máxima probable resultante del análisis de riesgo sísmico de la cartera. El valor de pérdida monetaria correspondiente al periodo de retorno analizado, resulta de multiplicar el porcentaje de PMP y el valor asegurado total de la cartera en bienes inmuebles, contenidos y lucro cesante.

*Porcentaje de retención:* corresponde al porcentaje del riesgo retenido en la cobertura de daños del valor asegurable. Es la capa o capas que asume el interesado de la pérdida potencial antes de transferir.

*Prima blanket:* Valor único de prima que corresponde a un valor promedio de todas las primas de un portafolio o que expresa que se tiene una valoración promedio del riesgo.



*Prima pura:* También conocida como prima técnica, refleja el valor esperado de la pérdida que se tendría en un año cualquiera, suponiendo que el proceso de ocurrencia de los desastres es estacionario y que a los inmuebles dañados se les restituye inmediatamente después de un desastre. Es el valor de la pérdida anual esperada normalizada por el valor del activo.

*Rate-On-Line ROL:* Se define como la prima sobre el límite de la cobertura de una capa de transferencia de riesgo financiero.

*Reaseguro:* Es la cesión o transferencia al reasegurador de una parte de los riesgos que un asegurador asume frente a los asegurados, mediante contratos de reaseguro.

*Reaseguro automático:* Es el reaseguro contractual para carteras de seguros. En el reaseguro automático el asegurador está obligado a ceder al reasegurador una parte contractualmente estipulada de los riesgos, definidos en el contrato de reaseguro, y el reasegurador está obligado a aceptar esta parte. El reaseguro automático puede ser proporcional y no proporcional.

*Reaseguro de carteras para eventos catastróficos:* Es un tipo de reaseguro no proporcional o en exceso de pérdida, que protege la retención neta de la cartera de las entidades aseguradoras en eventos que afecten simultáneamente varios riesgos individuales objeto del contrato de reaseguro.

*Reaseguro de cuota parte:* Tipo de reaseguro proporcional en el cual el reasegurador asume una cuota fija de todas las pólizas que el asegurador ha suscrito en un ramo determinado. Dicha cuota determina la manera en que el asegurador directo y el reasegurador se dividen las primas y los siniestros.

*Reaseguro de excedente de sumas:* Tipo de reaseguro proporcional en el cual el asegurador directo retiene la totalidad del riesgo hasta un límite máximo de la cuantía asegurada. A partir de ese límite el reasegurador asume el resto de la cuantía asegurada.

*Reaseguro por exceso de pérdida (XL):* En este tipo de reaseguro los importes de las pérdidas son los que determinan la proporción de cesión del riesgo. En esta modalidad de reaseguro el asegurador directo se responsabiliza completamente por la pérdida hasta la cuantía que determina la prioridad independientemente de la cuantía asegurada. Las pérdidas que superan el monto establecido por la prioridad deben ser pagadas por el reasegurador.

*Reaseguro facultativo:* Es el reaseguro de riesgos individuales. El carácter facultativo se refiere a la libre decisión de ceder y aceptar por parte de la compañía de

seguros y el reasegurador, respectivamente. El reaseguro facultativo puede ser proporcional y no proporcional.

*Reaseguro proporcional:* En este tipo de reaseguro las primas y siniestros se reparten entre el asegurador directo y el reasegurado en una relación fija.

*Reaseguro no proporcional:* En este tipo de seguro los siniestros se reparten de acuerdo con las pérdidas que se dan efectivamente. El asegurador directo define una cuantía específica hasta la cual responde por la totalidad de las pérdidas. Esta cuantía es conocida como prioridad o deducible. Cuando las pérdidas superan dicha prioridad el reasegurador debe responder por el pago del resto de estas hasta el respectivo límite de cobertura convenido.

*Reinstalamentos:* Corresponde al número de reestablecimientos de la cobertura fijados por los reaseguradores en la colocación facultativa, los cuales se definen en términos de la cuantía que se reestablezca y el tiempo de vigencia de la cobertura reestablecida.

*Reserva de desviación de siniestralidad, RDS:* Es una reserva especial acumulable para el ramo de terremoto, que se constituye con el 100% de la reserva de riesgos en curso que se libere, de acuerdo con la vigencia de los compromisos.

*Reserva de riesgos en curso, RRC:* Es una reserva que las entidades aseguradoras deben constituir para respaldar las responsabilidades adquiridas en la suscripción de seguros de terremoto.

*Retención del riesgo:* Significa asumir las pérdidas potenciales o tomar el riesgo. Puede ser una estrategia consciente resultado de un análisis de optimización financiera. El autoseguro es una estrategia de retención que consiste en tomar medidas para el control del riesgo y asumir las pérdidas que se puedan presentar.

*Retención neta:* Es el valor asegurado que queda a cargo de la compañía de seguros una vez deducida la responsabilidad de sus coaseguradores y reaseguradores en contratos proporcionales.

*Retención proporcional:* Es una colocación facultativa por capas donde la retención de la compañía de seguros se establece como una proporción del valor asegurado del riesgo.

*Retención no proporcional (Prioridad):* Es una colocación facultativa por capas donde la retención se define como un límite hasta el cual la compañía de seguros asume por cuenta propia el valor de los siniestros.

*Riesgo de base:* Posibilidad de pérdida como resultado de una imperfecta correspondencia entre el valor de las pérdidas probables y el pago compensatorio previsto; es decir, entre el riesgo subyacente y el valor transferido acordado.

*Riesgo moral:* Se refiere a un incremento de la probabilidad de la pérdida por el comportamiento no preventivo y responsable del tomador de un contrato de transferencia de riesgos.

*Riesgo sísmico:* Es una medida de las pérdidas esperadas por sismo, el cual se estima como una combinación de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad de las estructuras. El riesgo sísmico de una edificación o una cartera de seguros compuesta por un grupo de edificaciones, se puede expresar en términos de variables como la prima pura de riesgo, la tasa pura de riesgo y la función de pérdida máxima probable.

*Selección adversa:* Situación que se presenta cuando no se puede distinguir entre la probabilidad de pérdida para categorías de riesgos buenos (o de baja vulnerabilidad) y malos (o de alta vulnerabilidad).

*Sismo, temblor o terremoto:* Vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de las ondas sísmicas provenientes de una zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la corteza terrestre.

*Sismofuente:* Zona donde se originan movimientos súbitos de la corteza terrestre, causados por la concentración de energía sísmica relacionada con procesos tectónicos. En cada sismo fuente actúa un mecanismo generador de sismos particular.

*Suma de los valores retenidos y cedidos equivalente al valor asegurado de la póliza original:* Es una colocación facultativa en donde la suma de los valores retenidos por la compañía de seguros y cedidos al reasegurador es igual al 100% del valor asegurado de la póliza original.

*Suma de los valores retenidos y cedidos menor al 100% del valor asegurado de la póliza original:* Es una colocación facultativa donde la suma de valores retenidos y cedidos se establece con criterios cualitativos y cuantitativos de las probabilidades de ocurrencia de siniestros, tales como la pérdida máxima probable. La suma de valores retenidos y cedidos se define como un porcentaje o una suma monetaria menor del 100% del valor asegurado en la póliza original.

*Tasa Pura de Riesgo, TPR:* Es la tasa técnica que debe aplicarse en un año cualquiera sobre el valor asegurado de un riesgo individual o una cartera, para pagar las indemnizaciones asociadas a la ocurrencia de pérdidas, suponiendo que el proceso de ocurrencia de sismos es estacionaria y que a las estructuras dañadas se les restituye su resistencia inmediatamente después de un sismo.

*Transferencia del riesgo:* Acuerdo o contrato mediante el cual una parte se compromete a tomar el riesgo y pagar las pérdidas que se pueden presentar a un cedente durante un período de tiempo a cambio de una prima de riesgo.

*Valor asegurable:* corresponde en general al valor de reposición. Para el caso de planes que no sean a primer riesgo, se debe considerar como la suma asegurada establecida en la póliza. En el caso de seguros a primer riesgo, este valor corresponde al valor de los inmuebles.

*Vulnerabilidad sísmica:* Es la cuantificación del potencial de mal comportamiento estructural y no estructural de una edificación, así como de sus contenidos, cuando es sometida a sollicitaciones sísmicas. La vulnerabilidad sísmica se representa mediante funciones de vulnerabilidad, las cuales se establecen tanto para las edificaciones, considerando sus elementos estructurales y no estructurales, como para los contenidos.



## Anexo B

### ESTIMACIÓN DEL GASTO SOSTENIBLE INTERTEMPORAL PARA DESASTRES

La política fiscal es una secuencia de  $(g, h, d, t)$  y un valor inicial de la deuda  $b_0$ . Donde  $g$  es el gasto en funcionamiento e inversión como % del Producto Interno Bruto (PIB),  $h$  son las transferencias del gobierno como porcentaje del PIB,  $d$  es el gasto para atender desastres como porcentaje del PIB y  $t$  son los ingresos del gobierno como porcentaje del PIB. Se dice que la política fiscal es sostenible si la deuda no crece a ritmos mayores que la tasa de interés, o de manera equivalente, si la razón de deuda al PIB no crece más rápido que la diferencia entre la tasa de interés real y del PIB, es decir,  $r-\theta$ , donde  $r$  es la tasa de interés y  $\theta$  la tasa de crecimiento del PIB. La condición de sostenibilidad se expresa formalmente como:

$$-b_0 = \int_0^{\infty} (g + h + d + t)e^{-(r-\theta)s} ds \quad (\text{B.1})$$

Esta expresión simplemente dice que la política fiscal es sostenible si el valor presente de los superávit primarios  $-(g+h+d-t)$  descontados a la tasa  $r-\theta$  es exactamente igual al valor de la deuda inicial. Por supuesto, esta condición, ex-post, siempre se cumple. Por tanto, lo interesante es saber si en un momento del tiempo se requerirá un cambio drástico de las variables fiscales, y si es así, determinar cuál es su magnitud. Aprovechando esta idea, se puede hacer la siguiente pregunta: ¿cuál es la tasa constante de gasto para atender desastres ( $d^*$ ) que permite asegurar que la condición de sostenibilidad se cumpla? Para responder a esta pregunta, se debe asumir unas trayectorias para  $g, h$  y  $t$ , y luego utilizar la condición de sostenibilidad para determinar el nivel de  $d^*$  sostenible. La condición de sostenibilidad se puede escribir de la siguiente manera:

$$-b_0 = \int_0^{\infty} (g + h + t)e^{-(r-\theta)s} ds + \int_0^{\infty} d^* e^{-(r-\theta)s} ds \quad (\text{B.2})$$

reordenando términos e integrando, se llega a la siguiente expresión:

$$-b_0 - \int_0^{\infty} (g + h - t)e^{-(r-\theta)s} ds = \frac{d^*}{r - \theta} \quad (\text{B.3})$$

despejando y ordenando signos, llegamos a la respuesta de la pregunta:

$$d^* = \left[ \int_0^{\infty} (t - g - h)e^{-(r-\theta)s} ds - b_0 \right] (r - \theta) \quad (\text{B.4})$$

Entonces, se puede definir el indicador el indicador  $d^*-d$ , donde  $d^*$  es el gasto para desastres que cumple la condición de sostenibilidad y  $d$  es el gasto corriente que se requiere para hacer frente a un desastre mayor. Si  $d^*-d < 0$ , se puede concluir que el gobierno no podría asumir todos los costos, excepto si está dispuesto a reasignar gasto, a incrementar impuestos o a endeudarse interna o externamente incumpliendo la condición de sostenibilidad. Como debe quedar claro de la ecuación, para determinar  $d^*$  se requiere información para horizontes infinitos de la tasa de interés real y de crecimiento, como de los flujos de las variables fiscales. Esta exigencia de información obliga a diseñar indicadores para horizontes de tiempo finito. Suponiendo que se desea determinar el nivel del gasto para desastres  $d^*$  constante sostenible para  $n$  años. La idea entonces es que para trayectorias de  $t, g, h$ , el nivel de  $d^*$  garantice que la razón deuda al PIB después de  $n$  años sea igual al saldo de deuda inicial, es decir,  $b_0$ . Utilizando el mismo esquema contable, se llega finalmente a la expresión siguiente:

$$d_n^* = \left[ (1 - e^{-(r-\theta)n})^{-1} \int_0^n (t - g - h)e^{-(r-\theta)s} ds - b_0 \right] (r - \theta) \quad (\text{B.5})$$

Si  $n, r$  y  $\theta$  son pequeños,  $d_n^*$  es aproximadamente igual al valor promedio de los superávit primarios durante los  $n$  períodos menos el saldo de la deuda como porcentaje del PIB multiplicada por la tasa de interés real neta de la tasa de crecimiento del PIB, como lo expresa la ecuación una vez solucionada la integral, así:

$$d_n^* = (t - g - h) - b_0(r - \theta) \quad (\text{B.6})$$

## Anexo C

### **ESQUEMA DE BONOS CAT: MODELO ACTUARIAL<sup>1</sup>**

Un bono CAT es un derecho de propiedad que le ofrece a su tenedor un flujo de rendimientos financieros contingentes a la ocurrencia o no de un evento catastrófico que se define, generalmente, a partir de índices paramétricos objetivos. Si ocurre el evento descrito en el documento (un terremoto de  $x$  grados en la escala de Richter en una determinada zona, por ejemplo), el emisor del bono puede deducir un porcentaje del valor del bono cuya cota superior es el 100% de los recursos invertidos por el tenedor. En caso de que no ocurra el desastre durante la vigencia del bono, el tomador de riesgo obtiene el principal y una tasa de rendimiento superior a la tasa libre de riesgo (tasa de interés de los TES B).

En la propuesta que se desarrolla a continuación, se considera que es más conveniente diseñar esquemas de Bonos CAT que garanticen el flujo de rendimientos a los inversionistas una vez ocurre el evento, penalizando los flujos futuros con una tasa de interés menor que la pactada. Así mismo se considera que la deducción del principal no sea del 100%. Estas especificaciones hacen al instrumento financiero más atractivo para los inversionistas quienes no sólo contarán con un activo que no se correlaciona con los precios de sus otras inversiones, sino que además ofrece una rentabilidad positiva incluso en el evento que las contingencias ocurran.

#### **Pago del bono $S$ años después del desastre, con $S$ fijo.**

La valoración de activos financieros generalmente se hace por medio del valor presente de su probable comportamiento futuro. Para esto se usan martingalas (juegos justos), procesos de pagos en equilibrio o simplemente valores esperados en los cuales se supone que el valor presente de las ganancias o pérdidas son nulas, de esta forma se garantiza que el modelo considera que los dos tipos de agentes involucrados en el proceso, comprador y vendedor, están en igualdad de condiciones frente al futuro

---

<sup>1</sup> Con la contribución del Profesor Álvaro M. Moreno



comportamiento del activo negociado. La modelación por cualquiera de estos medios involucra un supuesto sobre el comportamiento futuro del activo, este es, sobre la probabilidad de transición de valor. Ese comportamiento, además de un supuesto teórico sobre las distribuciones de probabilidad, se deduce del comportamiento histórico de los fenómenos que implican cambios de valor del activo.

A partir del comportamiento teórico del activo financiero y del equilibrio (martingala) se encuentran los valores justos para el vendedor y comprador de las tasas de interés y precios involucrados en el activo.

Para el caso de un bono de catástrofes los supuestos teóricos se hacen sobre el proceso de ocurrencia, función de distribución de probabilidad tipo Poisson generalizada, el tipo de retornos dependiendo de la ocurrencia del fenómeno, que regirán los términos del bono (tipos de bonos) y sobre el momento de ocurrencia de la catástrofe. El modelo debe permitir encontrar los valores justos, esto es, precio de emisión y tasas de interés a partir de supuestos sobre el momento de ocurrencia del fenómeno, valor deseable como disponible en ese momento, conocimiento de las tasas de interés del mercado financiero y debe permitir ajustes para que el bono diseñado con sus directrices sea suficientemente atractivo a los posibles inversionistas.

El valor presente del beneficio del emisor del bono en caso de que el desastre ocurra durante la vigencia del bono ( $T \leq R$ ) o el valor a pagar (beneficio al inversionista) en caso de que el desastre no ocurra dentro de la vigencia del bono es,

$$V_0 = \begin{cases} D_T e^{-\delta_c T}, & \text{si } T \leq R \\ P_0 - B_{NE} e^{-\delta_c R}, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (C.1)$$

donde:  $T$  es el momento de ocurrencia del desastre,  $R$  es la duración del contrato del bono,  $\delta_c$  es la tasa instantánea de interés efectiva de certificados de tesorería ( $e^{\delta_c} = 1 + i_c$ ), con  $i_c$  la tasa cupón de los TES),  $D_T$  es la cantidad de dinero disponible para el emisor al momento de ocurrencia del evento,  $P_0$  es el precio de emisión del bono y  $B_{NE}$  es el beneficio del inversionista en caso de que el evento no ocurra durante la vigencia del bono.

La cantidad de dinero de que dispone el emisor del bono en el momento de ocurrencia del desastre está dada por

$$D_T = \begin{cases} P_0 e^{-\delta_c T} - B_T e^{-\delta_c S}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} = \begin{cases} P_0 e^{-\delta_c T} - (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T} e^{\delta_{E1} S} e^{-\delta_c S}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (C.2)$$

esto es, la diferencia entre el monto acumulado del precio del bono ( $P_0 e^{\delta_c T}$ ) y el valor presente al momento del evento del beneficio prometido al inversionista ( $B_T e^{-\delta_c S}$ ) durante el tiempo ( $S$ ) de diferimiento de los beneficios.

El valor futuro del beneficio para el inversionista en caso de ocurrencia del evento antes del vencimiento del bono

$$B_T = (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T} e^{\delta_{E1} S} \quad (C.3)$$

es el beneficio prometido que recibirá  $S$  años después de la ocurrencia del evento: el  $(1 - \gamma_E)$  por ciento del valor nominal del bono ( $N_0$ ) más intereses del  $\delta_{E0}$  en el intervalo  $[0, T]$  y de  $\delta_{E1}$  durante  $S$  años a partir del momento  $T$ . Y en caso de no ocurrencia del desastre es

$$B_{NE} = N_0 e^{\delta_{NE} R} \quad (C.4)$$

esto es, si no ocurre el evento antes del tiempo de ejercicio del bono, el beneficio del inversionista es el valor nominal del bono  $N_0$  más los intereses a una tasa de  $\delta_{NE}$  durante su vigencia.

La ecuación de equilibrio

$$E(V_0) = 0 \quad (C.5)$$

como modelar el proceso por una martingala, garantiza que el proceso de ganancias es justo tanto para el inversionista como para el emisor (gobierno) y permite encontrar los parámetros involucrados en el proceso: el precio de emisión ( $P_0$ ) y las tasas de interés.

Para el cálculo se supone que la variable  $T$  tiene densidad,

$$f_{T_u}(t) = \lambda(T_u + t) e^{-\int_{T_u}^{T_u+t} \lambda(v) dv} \quad (C.6)$$

esta generaliza un proceso de Poisson para  $t > 0$ , donde  $T_u > 0$  es el tiempo transcurrido desde el último desastre,  $\lambda(\cdot)$  es la función de riesgo de ocurrencia del evento, esta mide la probabilidad condicional de que haya una ocurrencia en el intervalo  $(T_u + t, T_u + t + dt)$  dado que no ha ocurrido. Si  $\lambda(t) = \lambda > 0$ , riesgo constante,  $f_{T_u}(t) = \lambda e^{-\lambda t}$  corresponde a un proceso de Poisson sin memoria. Para el caso  $\lambda(\cdot)$  positiva y creciente

$$E(V_0) = \int_0^R D_t e^{-\delta_c t} f_{T_u}(t) dt + \int_R^\infty (P_0 - B_{NE} e^{-\delta_c R}) f_{T_u}(t) dt \quad (C.7)$$

Involucrando  $P_0$  en la primera integral,

$$E(V_0) = \int_0^R (P_0 - (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} t} e^{\delta_{E1} S} e^{\delta_c (t+S)}) f_{T_u}(t) dt + (P_0 - B_{NE} e^{-\delta_c R}) \int_R^\infty f_{T_u}(t) dt \quad (C.8)$$

Igualando a cero y despejando  $P_0$ ,

$$P_0 = (1 - \gamma_E) N_0 e^{-(\delta_c - \delta_{E1}) S} \int_0^R e^{-(\delta_c - \delta_{E0}) t} f_{T_u}(t) dt + N_0 e^{-(\delta_c - \delta_{NE}) R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (C.9)$$

Cuando no hay tiempo de diferimiento del pago, esto es  $S = 0$

$$P_0 = (1 - \gamma_E)N_0 \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt + N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (C.10)$$

Puesto que se desea que  $D_T > 0$  para toda  $T$  en el intervalo  $[0, R]$ , entonces

$$(\delta_{E0} - \delta_C)T + (\delta_{E1} - \delta_C)S < \ln\left(\frac{P_0}{(1 - \gamma_E)N_0}\right) \quad (C.11)$$

Condiciones para que esta desigualdad se satisfaga para  $S > 0$  y  $T > 0$  son,  $\delta_{E0} < \delta_C$ ,  $\delta_{E1} < \delta_C$  y  $P_0 \geq (1 - \gamma_E)N_0$ , o en forma equivalente,

$$\gamma_E \geq 1 - \frac{P_0}{N_0} = 1 - \frac{e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt}}{1 - e^{-(\delta_C - \delta_{E1})S} \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt} \quad (C.12)$$

Los rangos para los valores de las tasas de interés  $\delta_{E0}$ ,  $\delta_{E1}$  pueden ser determinados a partir de las tres condiciones dadas para que  $D_T > 0$ , que puede ser refinada en la forma  $D_T \geq rP_0$ , para  $T$  en el intervalo  $[0, R]$  y  $0 < r < 1$ . La función de valor

$$g(T) = e^{-\delta_C S} - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{\delta_{E0} T - (\delta_C - \delta_{E1}) S} \geq r \quad (C.13)$$

es creciente en  $[0, R]$  para  $S > 0$ , por tanto sus extremos los alcanza en  $T = 0$  y  $T = R$ . Si el emisor requiere un disponible mínimo de  $\alpha P_0$  y un máximo de  $\omega P_0$  para  $0 < \alpha < 1$  y  $\alpha < \omega$ , se deben cumplir las condiciones:  $D_0 = \alpha P_0$  y  $D_R = \omega P_0$  en términos de la función  $g$ ,

$$g(0) = 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{-(\delta_C - \delta_{E1}) S} = \alpha \quad (C.14)$$

y

$$g(R) = e^{\delta_C R} - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{\delta_{E0} R - (\delta_C - \delta_{E1}) S} = \omega \quad (C.15)$$

En la primera de estas,

$$\delta_{E1} = \delta_C + \frac{1}{S} \ln\left(\frac{(1 - \alpha)P_0}{(1 - \gamma_E)N_0}\right) \quad (C.16)$$

esta tasa de interés debe satisfacer  $0 \leq \delta_{E1} < \delta_C$ . De estas desigualdades se concluye que,

$$1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} < \alpha \leq 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{-\delta_C S} \quad (C.17)$$

la cota superior es una función creciente en  $\gamma_E$  y  $S$ . Reemplazando  $g(0)$  en  $g(R)$  se tiene:  
 $e^{\delta_C R} - (1-\alpha)e^{\delta_{E0}R} = \omega$  de donde,

$$\delta_{E0} = \frac{1}{R} \ln \left( \frac{e^{\delta_C R} - \omega}{1 - \alpha} \right) \quad (C.18)$$

este también satisface la condición  $0 \leq \delta_{E0} < \delta_C$  lo que implica

$$\alpha e^{\delta_C R} < \omega \leq e^{\delta_C R} + \alpha - 1 \quad (C.19)$$

esta cota superior es creciente en  $\delta_C$  y  $R$ . Cuando  $S = 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_E &\geq 1 - \frac{e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R} - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt}{1 - \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt} & \alpha \\ &= 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} & (C.20) \\ \omega &= e^{\delta_C R} - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{\delta_{E0} R} \end{aligned}$$

de aquí,

$$\alpha e^{\delta_C R} < \omega \leq e^{\delta_C R} + \alpha - 1 \text{ con } \alpha = 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} \quad (C.21)$$

## 2. Pago del bono al momento de vencimiento ( $S = 0$ ).

Como en el caso anterior,

$$V_0 = \begin{cases} D_T e^{-\delta_C T}, & \text{si } T \leq R \\ P_0 - B_{NE} e^{-\delta_C R}, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (C.22)$$

el disponible para el emisor es

$$D_T = \begin{cases} P_0 e^{-\delta_C T} - B_T e^{-\delta_C S}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} = \begin{cases} P_0 e^{-\delta_C T} - (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T} e^{\delta_{E1}(R-T)} e^{-\delta_C(R-T)}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (C.23)$$

el beneficio para el inversionista

$$B_T = (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T} e^{\delta_{E1}(R-T)} \quad (C.24)$$

y

$$B_{NE} = N_0 e^{\delta_{NE} R} \quad (C.25)$$

si no ocurre el evento antes del tiempo de ejercicio del bono.

Para encontrar el precio de emisión ( $P_0$ ) se soluciona la ecuación,  $E(V_0) = 0$  de donde, se tiene

$$P_0 = (1 - \gamma_E)N_0 e^{-(\delta_c - \delta_{E1})S} \int_0^R e^{-(\delta_{E1} - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt + N_0 e^{-(\delta_c - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (C.26)$$

Las restricciones sobre las tasas de interés se encuentran, como en el caso anterior, del supuesto que  $D_T > 0$  para  $0 \leq T \leq R$ , que equivale a

$$(\delta_{E0} - \delta_{E1})T + (\delta_{E1} - \delta_c)R < \ln\left(\frac{P_0}{(1 - \gamma_E)N_0}\right) \quad (C.27)$$

Esta desigualdad se cumple si,  $\delta_{E0} < \delta_{E1}$ ,  $\delta_{E1} < \delta_c$  y  $P_0 \geq (1 - \gamma_E)N_0$ . Esta última equivale a

$$\gamma_E \geq 1 - \frac{P_0}{N_0} = 1 - \frac{e^{-(\delta_c - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt}}{1 - e^{-(\delta_c - \delta_{E1})R} \int_0^R e^{-(\delta_c - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt} \quad (C.28)$$

consideraciones iguales al caso 1.  $D_T \geq rP_0$ , para  $T$  en el intervalo  $[0, R]$  y  $0 < r \leq 1$ . La función de valor

$$g(T) = e^{\delta_c T} - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{(\delta_{E0} - \delta_{E1} + \delta_c)\delta_{E0}T - (\delta_c - \delta_{E1})R} \geq r \quad (C.29)$$

es creciente en  $[0, R]$ , por tanto sus extremos los alcanza en  $T=0$  y  $T=R$  con valor . Si el emisor requiere un disponible mínimo de  $\alpha P_0$  y un máximo de  $\omega P_0$  para  $0 < \alpha < 1$  y  $\alpha < \omega$ , se deben cumplir las condiciones:  $D_0 = \alpha P_0$  y  $D_R = \omega P_0$  en términos de la función  $g$ ,

$$g(0) = 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{-(\delta_c - \delta_{E1})R} = \alpha \quad (C.30)$$

y

$$g(R) = e^{\delta_c R} - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{\delta_{E0}R} = \omega \quad (C.31)$$

En la primera de estas,

$$\delta_{E1} = \delta_c + \frac{1}{R} \ln\left(\frac{(1 - \alpha)P_0}{(1 - \gamma_E)N_0}\right) \quad (C.32)$$

esta tasa de interés debe satisfacer  $0 \leq \delta_{E1} < \delta_c$ . De estas se concluye,

$$1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} < \alpha \leq 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{-\delta_C R} \quad (\text{C.33})$$

la cota superior es una función creciente en  $\gamma_E$  y  $S$ .

$$\delta_{E0} = \frac{1}{R} \ln \left( \frac{(e^{\delta_C R} - \omega) P_0}{(1 - \alpha) N_0} \right) \quad (\text{C.34})$$

este también satisface la condición  $0 \leq \delta_{E0} < \delta_C$  lo que implica

$$\alpha e^{\delta_C R} < \omega \leq e^{\delta_C R} - \left( \frac{(1 - \gamma_E) N_0}{P_0} \right) \quad (\text{C.35})$$

### 3. Resumen de los diferentes casos

#### **Tipo 1 a.**

Si la catástrofe ocurre durante la vigencia del bono: Se retiene  $\gamma_E N_0$  y sobre  $(1 - \gamma_E) N_0$  se le paga tasa de interés  $\delta_{E0}$  en el intervalo  $[0, T]$  y tasa  $\delta_{E1}$  en el intervalo  $[T, T + S]$  ( $S$  fijo) además del capital  $(1 - \gamma_E) N_0$ .

Si el evento no ocurre, el inversionista recibe  $N_0$  más los intereses a una tasa  $\delta_{NE}$  durante la vigencia del contrato  $[0, R]$ .

El emisor recibe, en caso de ocurrencia del desastre,  $D_T$  con  $\alpha P_0 \leq D_T \leq \omega P_0$  para  $0 < \alpha < 1$  y  $\alpha < \omega$ .

$$P_0 = (1 - \gamma_E) N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{E1})S} \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt + N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (\text{C.36})$$

$\delta_{NE}$  se despeja de la ecuación anterior y

$$D_T = \begin{cases} P_0 e^{-\delta_C T} - (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T} e^{\delta_{E1} S} e^{-\delta_C S}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (\text{C.37})$$

las restricciones que se tienen son

$$S_0, 1 - \frac{e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt}}{1 - e^{-(\delta_C - \delta_{E1})S} \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt} \leq \gamma_E \leq 1, 0 < \delta_{E0} < \delta_C, 0 < \delta_{E1} < \delta_C,$$

$$\delta_{E0} = \frac{1}{R} \ln \left( \frac{e^{\delta_C R} - \omega}{1 - \alpha} \right), \quad \delta_{E1} = \delta_C + \frac{1}{S} \ln \left( \frac{(1 - \alpha) P_0}{(1 - \gamma_E) N_0} \right), \quad (\text{C.38})$$

$$1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} < \alpha \leq 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} e^{-\delta_C S} \text{ y } \alpha e^{\delta_C R} < \omega \leq e^{\delta_C R} + \alpha - 1$$

**Tipo 1 b.**

Si la catástrofe ocurre durante la vigencia del bono, se retiene  $\gamma_E N_0$  y sobre  $(1-\gamma_E) N_0$  se le paga tasa de interés  $\delta_{E0}$  en el intervalo  $[0, T]$  momento en el que se hace el pago.

Si el evento no ocurre, el inversionista recibe  $N_0$  más los intereses a una tasa  $\delta_{NE}$  durante la vigencia del contrato  $[0, R]$ .

El emisor recibe, en caso de ocurrencia del desastre,  $D_T$  con  $\alpha P_0 \leq D_T \leq \omega P_0$  para  $0 < \alpha < 1$  y  $\alpha < \omega$ .

$$P_0 = (1 - \gamma_E) N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{E1})S} \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt + N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (C.39)$$

$\delta_{NE}$  se despeja de la ecuación anterior y

$$D_T = \begin{cases} P_0 e^{\delta_C T} - (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (C.40)$$

las restricciones que se tienen son

$$1 - \frac{e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt}}{1 - \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt} \leq \gamma_E \leq 1, 0 < \delta_{E0} < \delta_C, \quad (C.41)$$

$$\delta_{E0} = \frac{1}{R} \ln \left( \frac{e^{\delta_C R} - \omega}{1 - \alpha} \right), \quad \alpha = 1 - (1 - \gamma_E) \frac{N_0}{P_0} \text{ y } \alpha e^{\delta_C R} < \omega \leq e^{\delta_C R} + \alpha - 1$$

**Tipo 2.**

Si la catástrofe ocurre durante la vigencia del bono:

Se retiene  $\gamma_E N_0$  y sobre  $(1-\gamma_E) N_0$  se le paga tasa de interés  $\delta_{E0}$  en el intervalo  $[0, T]$  y tasa  $\delta_{E1}$  en el intervalo  $[T, R]$  además del capital  $(1-\gamma_E) N_0$ .

Si el evento no ocurre, el inversionista recibe  $N_0$  más los intereses a una tasa  $\delta_{NE}$  durante la vigencia del contrato  $[0, R]$ .

El emisor recibe, en caso de ocurrencia del desastre,  $D_T$  con  $\alpha P_0 \leq D_T \leq \omega P_0$  para  $0 < \alpha < 1$  y  $\alpha < \omega$ .

$$P_0 = (1 - \gamma_E) N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{E1})R} \int_0^R e^{-(\delta_C - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt + N_0 e^{-(\delta_C - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (C.42)$$

$\delta_{NE}$  se despeja de la ecuación anterior y

$$D_T = \begin{cases} P_0 e^{\delta_c T} - (1 - \gamma_E) N_0 e^{\delta_{E0} T} e^{(\delta_{E1} - \delta_c)(R-T)}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (\text{C.43})$$

las restricciones que se tienen son

$$1 - \frac{e^{-(\delta_c - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt}}{1 - e^{-(\delta_c - \delta_{E1})R} \int_0^R e^{-(\delta_c - \delta_{E0})t} f_{T_u}(t) dt} \leq \gamma_E \leq 1, 0 < \delta_{E0} < \delta_c, 0 < \delta_{E1} < \delta_c, \quad (\text{C.44})$$

$$\delta_{E0} = \frac{1}{R} \ln \left( \frac{(e^{\delta_c R} - \omega) P_0}{(1 - \alpha) N_0} \right), \quad \delta_{E1} = \delta_c + \frac{1}{R} \ln \left( \frac{(1 - \alpha) P_0}{(1 - \gamma_E) N_0} \right),$$

$$\text{y } \alpha e^{\delta_c R} < \omega \leq e^{\delta_c R} + \alpha - 1$$

### **Tipo 3.**

Si la catástrofe ocurre durante la vigencia del bono, se retiene todo el capital. Si el evento no ocurre, el inversionista recibe  $N_0$  más los intereses a una tasa  $\delta_{NE}$  durante la vigencia del contrato  $[0, R]$ .

$$P_0 = N_0 e^{-(\delta_c - \delta_{NE})R - \int_{T_u}^{T_u+R} \lambda(t) dt} \quad (\text{C.45})$$

$\delta_{NE}$  se despeja de la ecuación anterior y

$$D_T = \begin{cases} P_0 e^{-\delta_c T}, & \text{si } T \leq R \\ 0, & \text{si } T > R \end{cases} \quad (\text{C.46})$$

las restricciones que se tienen son

$$\gamma_E = 1, \alpha = 1, \omega = e^{\delta_c R} \text{ y } 0 < \delta_{E0} < \delta_c \quad (\text{C.47})$$

## **4. Evaluación financiera de bonos de desastre (CAT) y seguros contra terremotos**

El objetivo del presente acápite es comparar desde el punto de vista del costo financiero, la pertinencia del uso de bonos CAT o de la expedición de las pólizas de seguros (utilizando el valor de la prima pura de la modelación de riesgo catastrófico) con el fin de cubrir las pérdidas ocasionadas en los edificios públicos del Distrito Capital por un terremoto de gran magnitud. Si bien los instrumentos de cobertura son complementarios, es decir, una estrategia financiera debería incluir diversos esquemas para reducir los costos de los eventos catastróficos, en el caso de un portafolio del gobierno los montos no ameritan combinar alternativas y lo mejor es examinar cuál resulta más conveniente en términos de recursos. De todos modos, no sobra aclarar que



en un esquema de protección de mayor alcance, es claro que se requerirán más de un instrumento financiero.

A partir de los cálculos del documento técnico y del modelo actuarial para Bonos CAT, se pueden estimar los costos de los instrumentos financieros. Los costos de los seguros incluyen la prima pura, los costos administrativos y los márgenes de ganancia de las aseguradoras y reaseguradoras. En este caso para efectos de la comparación se utilizó la prima pura y no el valor comercial del seguro. El costo del bono se determina de acuerdo a la siguiente fórmula: Costo de bono Cat =  $nA$ , donde  $n$  es el número de bonos a emitir y  $A$  es el costo por cada bono emitido. En los ejercicios se contemplaron dos casos para los cuales existe un valor máximo y mínimo de retención de recursos en caso que ocurra un terremoto. El costo del Bono CAT cuando se retiene el monto mínimo es  $n(a)A$  y el costo cuando se retiene el valor máximo es  $n(w)A$ . De allí que se pueda decir que cuando se cumple que  $n(a)A > \text{prima}$  o  $n(w)A > \text{prima}$ , la emisión del Bono CAT resulta ser la mejor alternativa de cobertura.

Se diseñaron plantean dos escenarios. En el primer escenario, se asume que el valor de la emisión de bonos es equivalente al valor asegurable calculado con un deducible de 3%. Se realizaron los cálculos pertinentes para cuatro tipos de Bonos CAT:

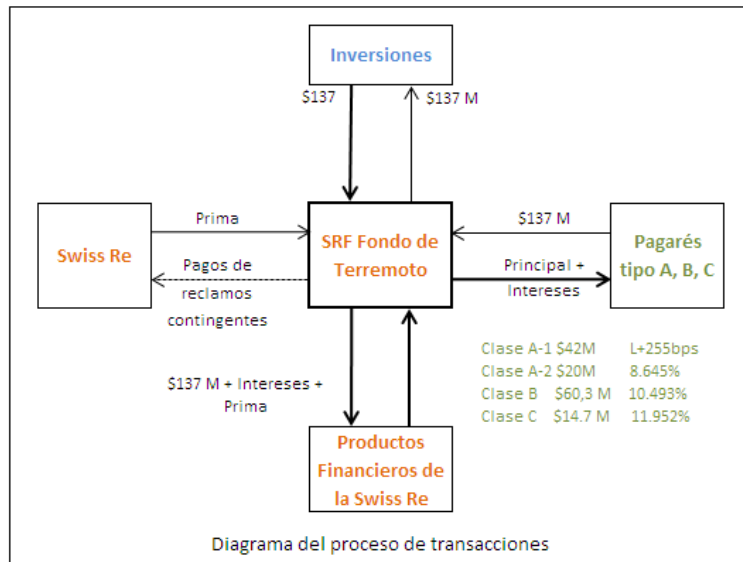
- Bono Tipo 1a: Si se produce el evento catastrófico, al inversionista se le retiene un % de su inversión y el restante se le devuelve después de un período de diferimiento fijo y positivo ( $S > 0$ ).
- Bono Tipo 1b: Si se produce el evento catastrófico, al inversionista se le retiene un % de su inversión y el restante se le devuelve en el momento en que se produce el desastre ( $S = 0$ ).
- Bono Tipo 2: Si se produce el evento catastrófico, al inversionista se le retiene un % de su inversión y el restante se le devuelve después de un período de diferimiento aleatorio ( $R - T$ ).
- Bono tipo 3: Si se produce el evento catastrófico, el inversionista pierde toda su inversión, es decir, el gobierno retiene todo el valor del bono.

Ahora bien, si bien existen algunas alternativas de bonos que pueden ser mejores que adquirir pólizas de aseguramiento, es difícil considerar la posibilidad de emitir un Bono CAT en los montos estipulados. Además de los factores financieros, también se debe tener presente las preferencias de los inversionistas, los casos favorables implican la máxima pérdida para el tenedor, lo cual podría dificultar una emisión de este tipo de bonos para el valor total asegurable o que cubra el PML.

### ***Bono CAT en Estados Unidos emitido por la Swiss Re***

A principios de 1997 la Swiss Re decidió transferir una porción de sus riesgos por terremoto en California a través de la emisión de bonos de catástrofe por terremoto a dos años, como contraste a los métodos tradicionales de transferencia del riesgo a

otros reaseguradores. Dado que la Swiss Re provee reaseguro a aseguradores que suscriben riesgo de terremoto en California, su exposición a pérdida fue predominantemente de eventos de grande pérdidas que pudieran exceder tanto los deducibles de los tomadores de las pólizas y el nivel de retención de los aseguradores. Y dado que ellos reaseguran un número de aseguradores que suscriben tanto pólizas residenciales como comerciales concluyeron que su potencial de pérdidas podría estar bien correlacionado con las pérdidas para toda la industria aseguradora. Después de unos cuidadosos estudios de ingeniería se formuló el esquema de la Figura 0.1 que es un diagrama de los elementos de las transacciones.



**Figura C.1.** Esquema de un Bono Cat emitido por la Swiss Re para California. Fuente EERI (2000)

El SR Fondo de Terremoto, Ltda. es una corporación de reaseguro de propósito limitado (algunas veces conocido como vehículo de propósito especial o SPV en inglés) establecido en las Islas Caimán, con el propósito sólo de proveer un contrato de catástrofe a dos años para el beneficio de la Swiss Re en Zurich, Suiza. En esencia, SR actúa como un reasegurador de la Swiss Re para el riesgo sísmico de California. SR pagará a la Swiss Re si las pérdidas de la industria de seguros (según lo reporte la Property Claim Services) exceden uno de los cuatro niveles, US\$ 12,000 millones, US\$ 18,500 millones, US\$ 21,000 millones y US\$ 24,000 millones.

Las fuentes de fondos de SR para el pago vienen de los productos originales de los tomadores de pagarés más la prima de reaseguros pagada por la Swiss Re y los ingresos provenientes de las inversiones realizadas en otros productos. Productos Financieros de la Swiss Re convierte los ingresos de las inversiones tanto en LIBOR (tasas de depósitos a corto plazo ofrecidas por la mayoría de los bancos de Londres) o en cantidades de tasa fija para pagos a los tenedores de pagarés. Un mayor beneficio de esta estructura es que la moneda es colocada en *trust* para el beneficio de la Swiss Re. No hay crédito para riesgo, como lo hay en los contratos tradicionales de reaseguro.

De no ocurrir el evento que dispare en el periodo de los dos años, lo tomadores de los pagarés reciben la totalidad del capital principal y el interés. Si el evento disparador ocurre entonces cada tipo de pagaré sufre un baja desde el 33% al 100% (en caso del evento de US\$ 24,000 millones). La pérdida esperada para los inversionistas se deriva de la curva de valores de excedencia de pérdidas para cada uno de los niveles aplicables de pérdida de la industria y el porcentaje definido de la reducción de capital en cada nivel. Para ampliar el mercado de pagarés y para proveer a los inversionistas una calificación independiente de los números de las pérdidas el servicio de inversiones Moody ha sido involucrado.

En adición a la revisión del análisis de riesgo esta empresa asignó una valuación para los tipos de pagaré A-1, A-2 y B, con una calificación basada en la pérdida esperada para los inversionistas. Esta calificación se obtiene del modelo que compara el riesgo con los datos históricos de no pago de bonos. Muchos inversionistas no compran bonos que no estén calificados y se restringen a ciertos grados de calificación de las inversiones. (Las calificaciones de bonos de Moody van desde la más alta cualidad, Aaa, hasta el nivel de no pago, C. Las calificaciones de inversión están limitados a Baa o superiores). Para esta transacción los tipos A-1 y A-2 recibieron una calificación de Baa 3; el tipo B recibió una calificación de Ba1 y la tipo C no fue calificada. Esto permite a los inversionistas seleccionar sus inversiones basadas en su riesgo de la seguridad. Cada vez que una negociación se realiza el valor del riesgo es reevaluado por el mercado, generando una verificación y comparación del riesgo por terremoto en California. El valor es menos transparente en los contratos tradicionales basados en seguros y reaseguros y sólo se determina en la renovación anual de la póliza. Transacciones de bonos de catástrofes han sido realizadas para amenazas como huracanes, tormentas y terremotos en Estados Unidos, Japón y Alemania entre otros. Actualmente la ciudad de México cuenta con un Bono CAT paramétrico tanto para sismo como para eventos hidrometeorológicos que originalmente se desarrolló sólo para sismo y su cobertura es básicamente para atender emergencias.

Un área que requiere de cada vez mayor investigación es la cuantificación de las fuentes de incertidumbre en los modelos técnicos y científicos porque el riesgo, en la definición del mercado de capitales, está basado en la pérdida media más la volatilidad o varianza. Aunque los inversionistas están llegando a conformarse con títulos de riesgo de catástrofe basados en estimaciones derivadas de modelos, el precio del riesgo es gravado con una prima importante de incertidumbre en los números. Por ejemplo, recientes transacciones de bonos de catástrofe tienen multiplicadores de rentabilidad/riesgo (rentabilidad anual esperada dividida por pérdida anual esperada) de cuatro a cinco veces. Aunque todos los títulos tienen una prima de riesgo este multiplicador podría ser mejorado entendiendo más las incertidumbres. Con un multiplicador reducido el precio y la disponibilidad podría mejorarse.

La combinación de nuevos conocimientos de la ciencia y la ingeniería, la tecnología de los computadores, los avances en las técnicas de información y las innovaciones del mercado financiero están ampliando las fuentes de capital para el riesgo de catástrofe. Con la titularización y negociación de productos de riesgo de catástrofe y el precio basado en mercados se ampliará el espectro de las decisiones financieras, afectando el precio del riesgo para cada sector involucrado en la gestión de riesgos: gobierno, propietarios de vivienda, corporaciones, aseguradores y

reaseguradores, científicos e ingenieros y profesionales en general relacionados con el riesgo de los desastres. En el futuro, el grado de participación dependerá de factores como:

- El desarrollo de estándares de los productos. La estandarización reduce los costos e incrementa la negociación.
- Desarrollo de una adecuada regulación. Numerosos aspectos de regulación, impuestos y contabilidad requieren ser resueltos antes de que los emisores puedan ganar los beneficios de la titularización. Esto le da consistencia a los precios. Si las tasas primarias están por debajo de lo que el mercado de capitales requiere no habrá suficiente capital para soportar los riesgos por catástrofe subyacentes.
- La aceptación de los inversionistas. El análisis del riesgo de los bonos cat y sus conceptos subyacentes, científicos y de ingeniería, son por su naturaleza complejos. Los inversionistas necesitan entender muy bien antes de sentirse cómodos con los bonos cat como lo están con otros tipos activos estructurados. Además de un esfuerzo importante en educación, posiblemente la creación de un índice de pérdidas por catástrofe podría proveer transparencia a los inversionistas del mercado de capitales.
- La eficiencia económica. El precio de los Bonos CAT aún está por encima de los precios del actual mercado de reaseguros lo que ha generado un lento desarrollo del mercado. Con el tiempo, estos costos, se espera, deben empezar a declinar y aunque los precios de los reaseguradores se puedan modificar optando por opciones más baratas y menos complejas, dado que la capacidad finalmente maneja el precio, el enorme tamaño de los mercados de capitales podría reducir notablemente el precio y la volatilidad.



## Anexo D

# REGLA ÓPTIMA DE ACUMULACIÓN Y GASTO PARA FONDOS DE RESERVAS

Para efectos de evaluar un fondo de reservas para desastres es importante describir cómo debe operar, en general, un fondo de compensación y cómo se puede definir su regla de acumulación y gasto, con el fin de lograr la mejor eficiencia posible. Desde una perspectiva económica se puede decir que la gestión del riesgo hace parte de la política de estabilización del gobierno nacional. En efecto, un terremoto, una inundación u otro evento natural se pueden catalogar como un choque exógeno negativo sobre el sistema económico y social, el cual tiene consecuencias macroeconómicas y microeconómicas. En primer lugar, el efecto inmediato es la destrucción de parte del *stock* de capital y de la capacidad productiva de los agentes privados y del gobierno.

En el corto plazo se podría decir que actúa como un choque de oferta que reduce el producto y el empleo en la economía regional o nacional dependiendo de la escala y la magnitud del evento. En este sentido, no se diferencia de otros tipos de choques como los cambios adversos sobre la productividad y los incrementos de los costos de producción, que terminan por reducir el ritmo de crecimiento y de empleo. Paralelamente, se puede generar un brote inflacionario que conducen a políticas monetarias restrictivas que agravan la situación de desempleo. De allí que sea fundamental que las autoridades económicas incorporen en sus análisis el “riesgo de los desastres” como el potencial de choques macroeconómicos negativos.

De otro lado, la situación fiscal del Estado puede verse deteriorada. El desastre reduce la base tributaria y aumenta las necesidades de gasto. El gobierno puede acudir a endeudamiento interno o externo, dependiendo de las condiciones de la economía nacional y de los grados de libertad con que cuente para aumentar los ingresos tributarios. En algunos países existen mecanismos de excepción que posibilitan al gobierno crear impuestos sin “representación”, sin embargo, ello requiere que se cumplan unas condiciones legales y constitucionales. De todos modos, los mayores impuestos o un ritmo más acelerado de endeudamiento comprometen la credibilidad de la política pública y la estabilidad macroeconómica, dejando abierta la puerta para la monetización del déficit o el *default* de deuda, con sus obvias consecuencias negativas: inflación y cierre de los mercados de crédito.

En otras palabras, un desastre puede poner en peligro la sostenibilidad externa de la economía y desencadenar una crisis de balanza de pagos. Si el evento afecta de manera considerable la infraestructura y la capacidad productiva de los sectores

transables de la economía, sin duda, el saldo de balanza comercial se deteriora, en parte por la reducción abrupta de las exportaciones y por el incremento de las importaciones. Si bien las donaciones internacionales y los créditos externos de ayuda compensan el desequilibrio en la balanza de pagos, en general, nunca son suficientes, por lo cual, los agentes sienten que las condiciones se deterioraran aún más, anticipando un depreciación del tipo de cambio, conduciendo a una fuga de capitales y a su obvia repercusión negativa sobre las reservas del Banco Central. Una gran depreciación del tipo de cambio presionara aún más el proceso inflacionario, obligando al gobierno y al Banco Central a políticas contractivas, reduciendo la demanda y la generación de empleo. El país podría caer en una trampa de bajo crecimiento sin que pueda salir fácilmente de ella, disminuyendo sustancialmente la eficacia de la política pública.

Por supuesto, esta cadena de eventos afecta el bienestar de las familias por medio de reducciones del ingreso y del consumo. En la medida que los agentes son adversos al riesgo, estarían dispuestos a sacrificar parte de su ingreso para reducir las variaciones bruscas en su consumo a lo largo del tiempo. Algunos estudios muestran que el costo de las fluctuaciones del consumo en algunos países se acerca a valores del orden del 5% del mismo. Sin embargo, este porcentaje podría aumentar ostensiblemente si se considera que gran parte de los hogares carecen de mecanismos de cobertura financiera y son racionados en los mercados de capitales.

En este orden de ideas, se puede defender la idea de utilizar mecanismos de estabilización o compensación de pérdidas de los agentes. Un fondo es un instrumento idóneo bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo, se puede constituir como un mecanismo que otorga subsidios a las familias cuando se presentan choques negativos transitorios. Un fondo de compensación no es otra cosa que un mecanismo financiero que permite implementar una política de suavizamiento del consumo, es decir, permite ahorrar y acumular recursos en momentos donde la economía atraviesa por “buenos tiempos” y los gasta cuando se reversan las condiciones, es decir, en crisis o en situaciones de desastre natural o antrópico.

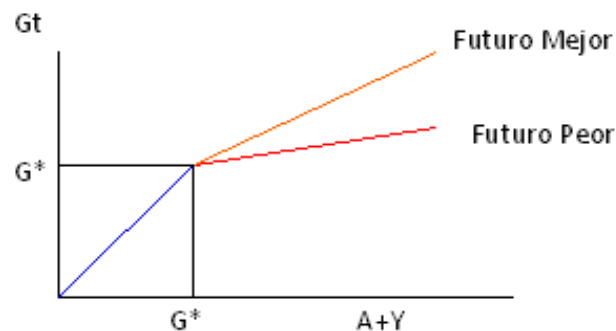
Siguiendo un sencillo esquema desarrollado por Blanchard y Fisher (1989) y asumiendo que el gobierno tiene acceso ilimitado a los mercados de crédito, la regla óptima de gasto del Fondo de Compensación para cada período es igual a una fracción del valor de la riqueza total, la cual es igual al valor presente de los ingresos esperados y el monto acumulado (o adeudado) en el Fondo. La expresión es:

$$C_0 = \left( \frac{r}{1+r} \right) \left[ E \left[ \sum_{t=0}^{\infty} (1+r)^{-t} Y_t | 0 \right] + A_0 \right] \quad (D.1)$$

Donde,  $E_0$  denota la expectativa sobre la variable  $Y$  en el momento 0,  $r$  es la tasa de interés y  $A_0$  es el saldo disponible en el fondo en el momento inicial. “Luego el fondo de acumulación óptimo opera como si hubiera certeza absoluta acerca de los flujos futuros de ingresos. Esta propiedad poco deseable se debe al supuesto de utilidad cuadrática, la cual describe de manera poco satisfactoria el comportamiento frente al riesgo” (Bash y Engel, 1992). De todos modos, se puede considerar como un punto de partida interesante para el análisis. De hecho, la regla óptima de acumulación del fondo de compensación (que en este caso es de calamidades) es muy simple:

$$A_t = \sum_{i=1}^{t-1} \alpha (Y_i - \bar{Y}) \quad (D.2)$$

Donde,  $Y_i$  es el ingreso observado del gobierno y  $\bar{Y}$  el ingreso promedio o de mediano plazo. El coeficiente  $\alpha$  representa el porcentaje de los ingresos que se destina al fondo de reservas para desastre. Es claro que cuando los ingresos observados están por debajo del nivel promedio, lo que se genera es un gasto del fondo que obedece a la ecuación R.1. Dicho porcentaje debería surgir de un problema de minimización de la pérdida social, donde se contemplen los diversos objetivos del gobierno (equidad, crecimiento, estabilidad macroeconómica, etc.). Por supuesto, en la política real, la distribución de los excedentes obedece a la puja entre ministerios e institutos. En la medida que la gestión del riesgo no es una prioridad del gobierno se reducen las posibilidades de mejorar la participación en la torta presupuestal. Reconociendo que aunque la normatividad de los fondos para desastres permite, en la mayoría de los casos, el endeudamiento, en general, es difícil acceder a recursos externos de financiamiento. Bajo estas condiciones, la cantidad acumulada en el fondo,  $A_t$ , siempre tendrá que ser mayor o igual a cero. A partir de una función de utilidad con aversión constante al riesgo y con una tasa de descuento ínter-temporal igual a la tasa de interés internacional, se puede mostrar que existe un mayor incentivo a ahorrar en el fondo. Aunque en éste caso no se puede obtener una solución explícita, si se pueden encontrar reglas de acumulación y gasto óptima por métodos numéricos (Bachs y Engel, 1994). En la Figura 0.2 se muestra esquemáticamente una regla de gasto, la cual establece la relación de las erogaciones en cada momento  $t$  en función de los recursos disponibles:  $A_t + Y_t$ .



**Figura D.1.** Regla de gasto.

La descripción del resultado es sencilla. Si los recursos del fondo son menores a un mínimo ( $G^*$ ), lo óptimo es que en cada instante se gasten todos los recursos disponibles, es decir, lo acumulado hasta el momento y los ingresos asignados por el gobierno en dicho período. Si los recursos pasan de dicho umbral, no se gastan todos los recursos y la propensión a gastar es menor que 1. De hecho, ésta dependerá de la



aversión al riesgo y de la volatilidad de los ingresos. También se muestra que si se percibe un futuro mejor, es decir, un estado del mundo con menores desastres, la propensión al gasto del fondo aumenta. Por el contrario, cuando se percibe un mundo más gris se requiere que el fondo ahorre más en el presente. Este mecanismo es óptimo en la medida que considera los ingresos esperados y el monto acumulado en el fondo para definir el gasto, además permite ajustar el gasto con base en los diversos estados del mundo futuros (Bachs y Engel 1994).

### **Ahorro óptimo considerando los desastres menores**

Uno de los más interesantes resultados del análisis histórico de los costos de los “desastres menores” es sin duda su alto impacto negativo sobre los patrimonios y los ingresos de los hogares más pobres. Su alta frecuencia e impacto moderado tiene consecuencias para la política pública. De allí que en este documento se defienda la idea que un Fondo Nacional y los Fondos Regionales que deberían existir a nivel subnacional, deben acumular recursos para hacerle frente a este tipo de eventos “pequeños” pero “recurrentes”.

En primer lugar, al ser eventos que se repiten en el tiempo de manera cíclica, con diversa magnitud, alcance y duración requieren de mecanismos de compensación de pérdidas que de no existir -ya sea porque el mercado no los provee o que el gobierno no tiene una política pública clara y coherente- podrían tener efectos dramáticos acumulativos sobre todos los agentes que carecen de medios de cobertura y administración del riesgo. Esto es mucho más grave cuando eventos similares recaen sobre las mismas familias -pobres y vulnerables- de manera sistemática y recurrente.

En segundo lugar, su menor impacto hace que sean “invisibles” desde el punto de vista de la opinión pública, limitando la acción eficaz para reducir los costos sociales. En efecto, como lo mostró Amartya Sen, las hambrunas no se originan por la falta de alimentos, sino porque la sociedad carece de mecanismos que permitan la movilización de recursos para atender a los afectados. En este sentido, todas las pérdidas las soportan los hogares, ahondando su vulnerabilidad y fragilidad ante un evento similar.

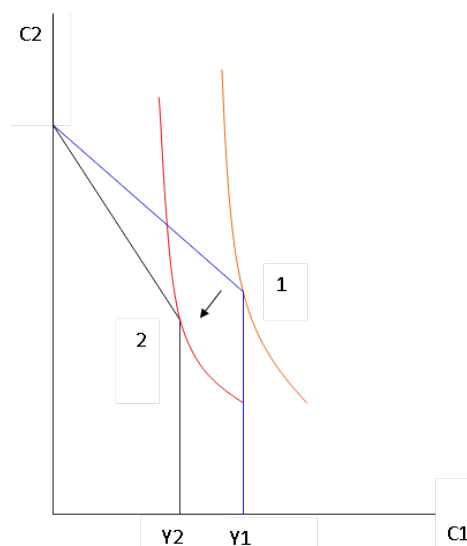
En este orden de ideas, se puede interpretar este tipo de “desastres” como choques esperados, es decir, como eventos negativos que ocurrirán en el futuro y que los agentes pueden predecir con base en la información estadística que poseen y la experiencia histórica<sup>2</sup>. Si todas las familias tienen acceso al crédito y a los instrumentos financieros de cobertura, no es difícil mostrar que la decisión óptima de los hogares es reducir su consumo presente, para generar los ahorros y recursos necesarios que le permitan compensar las pérdidas futuras, manteniendo de esta manera su consumo relativamente constante a lo largo del tiempo, minimizando las pérdidas en bienestar. Por supuesto, este es un mundo ideal.

En las sociedades realmente existentes, una gran parte de los hogares sufren de racionamiento del crédito y de restricciones de liquidez. Bajo estas circunstancias, las familias deben reducir su consumo cuando se presenta el choque negativo. En la

---

<sup>2</sup> Es normal que los afectados se quejen de que el gobierno no hace nada frente a inundaciones que se repiten todos los años.

práctica es imposible que el hogar pueda realizar alguna acción para suavizar su consumo. De hecho, el consumo reflejará una alta volatilidad generando grandes pérdidas de bienestar. En la Figura 0.3 se presenta dicha situación de manera simplificada en dos períodos.



**Figura D.2.** Reducción del consumo.

La figura muestra el caso de una familia que sufre de restricciones de liquidez, es decir, carece de acceso al mercado de capitales y por tanto no puede suavizar su consumo a lo largo del tiempo<sup>3</sup>. Suponiendo que se encuentra inicialmente en el punto 1. Allí se observa que el hogar consume exactamente su ingreso presente, lo mismo se cumple para el período futuro. Si se produce un desastre que lo afecte, por ejemplo, una inundación, un deslizamiento o un temblor pequeño, el impacto puede reducir su ingreso. Como se observa en el gráfico, la familia debe reducir su consumo actual en la misma proporción en que se reducen sus recursos. Por supuesto, este cambio genera grandes pérdidas de bienestar que el hogar no puede compensar. Esto explica una situación que es dramática debido a la ocurrencia de los desastres pequeños, pero que no es reconocida debidamente.

De una parte dichos eventos afectan a las familias pobres que carecen de acceso al crédito y recursos financieros. De otro, las pérdidas son asumidas por los hogares, por medio de la reducción de su consumo, ya sea de bienes o de servicios

<sup>3</sup> Las curvas de la figura parten del supuesto que una familia tiene una función de bienestar o utilidad que depende del consumo presente y futuro  $U(C1, C2)$ . La figura ilustra curvas de nivel de utilidad constante. Como  $U$  tiene ciertas propiedades matemáticas las curvas de indiferencia  $U(C1, C2) = \text{Constante}$ , se pueden dibujar como lo indica la figura. El agente maximiza cuando la curva presupuestal (la recta alcanza la curva de indiferencia más alta. Existe todo un mapa denso de estas curvas.

habitacionales, entre otros. Si bien la escala de los costos a nivel individual es imperceptible, cuando se agregan, pueden ser equivalentes al impacto de “grandes” eventos. De allí que sea necesario diseñar un mecanismo de ahorro precautorio que permita compensar parte de las pérdidas para los hogares. Por supuesto, dicho esquema tiene que estar en cabeza de un agente que tenga acceso al crédito y a recursos financieros. Los gobiernos subnacionales y el Gobierno Nacional son los llamados a generar los recursos que puedan servir como mecanismo de protección y de compensación para los hogares, de tal manera que se logre minimizar la caída del bienestar social.

El problema puede resolverse de una manera indirecta. Se asume que existe un agente representativo que tiene acceso al crédito y puede liberar recursos que le permiten suavizar su consumo a lo largo del tiempo. Una vez se determina el ahorro óptimo, dada la pérdida esperada, se infiere que el gobierno debería ahorrar ese monto con el fin de resolver el problema de la externalidad negativa generada por la ausencia de mercados financieros especializados y la existencia de grandes restricciones de liquidez. Siguiendo el trabajo de Freeman *et al* (2003), se considera un individuo que vive dos períodos, y tiene preferencias definidas por  $U(C1)+U(C2)$ . Tiene un ingreso de  $E$  igual en los dos períodos, pero con alguna probabilidad  $p$  de perder una suma de  $\Delta$  en el segundo período. Conociendo esto, el individuo decide sobre su nivel de ahorro  $S$  en el primer período y el número de unidades de seguro  $n$  que debe comprar. Cada unidad de seguro cuesta  $q$  y paga  $Q$  si el desastre ocurre. El consumo en el primer período se define como:

$$C_1 = Y - S \tag{D.3}$$

El consumo en el período 2 en el estado malo es:

$$C_2^M = Y + S - \Delta + nQ \tag{D.4}$$

En el estado bueno en el cual no ocurre la pérdida

$$C_2^B = Y + S - nq \tag{D.5}$$

Por tanto, el problema del consumidor es

$$\max_{s,n} U(y - S) + pU(Y + S - \Delta + nQ) + (1 - p)U(Y + S - nq) \tag{D.6}$$

Resolviendo este problema, asumiendo la existencia de seguros actuarialmente justos, así que  $pQ=(1-p)q$ , se llega a un resultado simple.  $C1=C2$  y el ahorro del agente del primer período es  $S=nq/2$ . Si se utiliza una función de utilidad con aversión absoluta al riesgo constante, como:

$$U(C) = K_1 - K_2e^{-\alpha C} \tag{D.7}$$

Se llega a una regla simple del “dedo pulgar”. En efecto, el ahorro óptimo del agente debe ser igual a:

$$S^* = \left(\frac{1}{2}\right) p\Delta \quad (\text{D.8})$$

Es decir, el individuo racional debe guardar el equivalente de la mitad de las pérdidas esperadas en el futuro. “Esto tiene una simple intuición. El consumo en el período 1 es  $Y-S$ , el consumo esperado en el período 2 (dada la ausencia de seguros) es  $Y+S-p\Delta$ . Así, para suavizar el consumo se requiere que  $S = p\Delta/2$ ”<sup>4</sup>. Como se anotó en los acápites anteriores, gran parte de los hogares están sujetos a restricciones de liquidez, lo cual impide que en ausencia de seguros puedan seguir la regla óptima derivada. Ello indica que el gobierno debería tratar de que dicha regla se cumpliera. Con ello no sólo reduciría las pérdidas de los agentes, sino que mejoraría el bienestar y la eficiencia de la economía. En este orden de ideas, es importante insistir en la necesidad que los gobiernos del nivel territorial y nacional hagan un esfuerzo para alcanzar por lo menos un ahorro anual para hacerle frente a los desastres “pequeños y recurrentes”.

---

<sup>4</sup> Freeman Paul K, M. Keen, and Muthukumara Mani (2003), Dealing with Increased Risk of Natural Disasters: Challenges and Options”, IMF, WP 197.



## Anexo E

### **DISEÑO DE UN FONDO DE COMPENSACIÓN ENTRE ENTIDADES TERRITORIALES**

Una alternativa para promover el aseguramiento tanto de municipios de menores como mayores ingresos, es crear un Fondo de Compensación. Los hechos presentados permiten definir de manera general dos tipos de jurisdicciones territoriales. Un grupo de altos ingresos y otro de bajos ingresos. Los entes territoriales con altos ingresos, en general, también tienen menores grados de vulnerabilidad y mayor resiliencia frente a los desastres, mientras que los municipios pobres enfrentan una alta vulnerabilidad y baja resiliencia. Ahora bien, la distribución del “margen de ingresos” de libre destinación de los municipios de mayor vulnerabilidad acumula más alcaldías y gobernaciones bajo cualquier nivel que la distribución de las jurisdicciones de menor vulnerabilidad y mayor margen de ingresos. Esta característica se denomina dominancia estocástica de primer orden. De manera similar a los mercados de seguros de salud, bajo estas condiciones se podrían presentar problemas de segmentación por ingresos y segmentación por riesgo así como discriminación por precios. En efecto, los municipios más pobres y vulnerables terminarían siendo atendidos por el gobierno nacional. Estos municipios en caso de asegurar su infraestructura y sus estratos de más bajos recursos sufrirían de una penalidad, pues las compañías de seguros les fijarían primas de seguros más altas por considerarlos malos riesgos<sup>5</sup>. Este resultado, exige un mayor esfuerzo fiscal del gobierno para atender la demanda de los municipios más vulnerables con el objeto de poder cubrir las demandas por asistencia y compensación de los desastres naturales sobre los hogares pobres y su infraestructura pública.

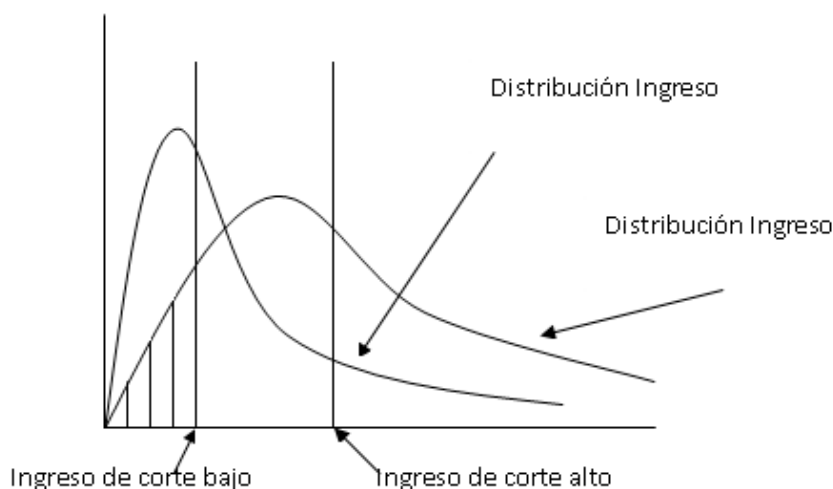
Adecuando el modelo de seguros desarrollado por Blackburn *et al* (2004) se podría pensar que un Fondo de Compensación que integre a los municipios y a las aseguradoras interesadas reduciría la segmentación por riesgo y disminuiría la demanda de recursos fiscales por parte del gobierno. Se supone que existen dos tipos de municipios: más y menos vulnerables. Los municipios deben determinar si compran seguros privados para atender a los pobres y proteger su infraestructura pública o retener el riesgo y asumir los costos de la atención y la recuperación de las poblaciones afectadas. En ausencia de un Fondo de Compensación, la situación se ilustra en la Figura 0.4.

Como los municipios o departamentos de mayor riesgo enfrentan mayores primas de seguros para un plan de cobertura determinado, ello exige un mayor margen

---

<sup>5</sup> Ver Stephen Blackburn, Consuelo Espinosa y Marcelo Tockman (2004)

de ingreso libre de destinación para acceder al mercado privado, por tanto, un gran número de este tipo de entes territoriales preferiría retener el riesgo de la población objetivo y de la infraestructura municipal o departamental, esperando que el gobierno les ayude con transferencias o donaciones. Por el contrario, los municipios o departamentos de menor riesgo pueden acceder a primas más bajas y por tanto requieren un margen de ingreso menor, lo que permite que muchos de estos municipios o departamentos accedan a contratos de seguros con compañías privadas. Existirá un número menor de jurisdicciones de este tipo que asuma todos los riesgos (región rayada). Este resultado es ineficiente, pues el gobierno debe asumir la cobertura explícita o implícita de los municipios o departamentos más pobres y con mayor vulnerabilidad.



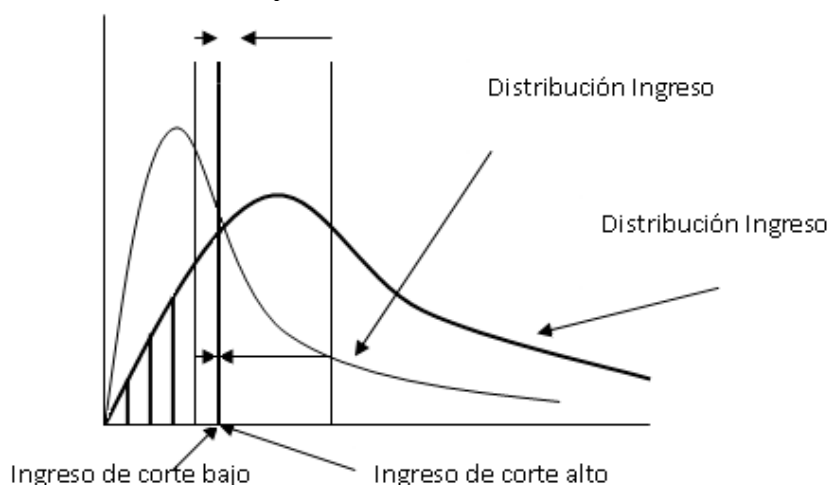
**Figura E.1.** Situación hipotética en ausencia de Fondo de compensación. Fuente: tomado y adaptado de Blackburn et al (2004)

Una alternativa ambiciosa pero factible es crear un Fondo de Compensación que incluya el sistema de aseguramiento público (Fondo de Gestión de Riesgo) y las compañías de seguros. Se asume que las compañías y el gobierno deben ofrecer el mismo plan de seguro a los municipios para cubrir a los pobres y la infraestructura pública. De esta manera, se elimina la discriminación por precios y se establece una cuña entre el pago por los seguros del municipio y los recursos percibidos por el asegurador. Así, por cada municipio o departamento de alto riesgo, la compañía de seguros recibe la cotización correspondiente más un subsidio que cubra la diferencia entre el costo esperado de otorgar el plan obligatorio y el costo esperado promedio de la población. Así mismo, por cada ente territorial de bajo riesgo se recibiría la cotización o prima menos la diferencia entre el costo esperado promedio del plan obligatorio y el costo esperado del municipio o departamento. (Blackburn et al 2004).

Este mecanismo establece un subsidio de los municipios menos vulnerables hacia los más vulnerables, lo que hace que algunos municipios o departamentos de alto

riesgo que antes retenían el riesgo ahora puedan acceder al mercado privado, y lo contrario, algunos municipios o departamentos de bajo riesgo prefieran retenerlo.

El resultado se muestra en la Figura 0.5. El Fondo de Compensación permite entonces que el margen de ingreso para los entes territoriales de alto y bajo riesgo se iguale, ello es así porque el plan obligatorio independiza el pago del municipio o departamento respecto a su propio riesgo y lo hace depender del riesgo promedio de los agentes que hacen parte del Fondo<sup>6</sup>. Si bien es cierto que la segmentación por riesgo no desaparece, por lo menos si disminuye, por lo cual la demanda de recursos fiscales se reduce y permite que los municipios y departamentos los destinen a otras necesidades rentables desde el punto de vista social.



**Figura E.2.** Situación hipotética con Fondo de compensación universal- Fuente: tomado y adaptado de Blackburn et al (2004)

Un fondo de esta naturaleza se propuso en Chile para reformar el sistema de seguros de salud. Lamentablemente, las compañías de seguros privadas se opusieron al mecanismo y se argumentó que existían mecanismos intrínsecos de solidaridad en el sistema que resolvían directamente el problema cobrando una prima comunitaria por el plan básico. Sin embargo, como lo muestran Blackburn et al (2004) la propuesta de la ISAPRES no resuelve el problema de segmentación por riesgo ni reduce el gasto público. De allí que la opción del Fondo de Compensación sea una opción abierta. Es posible que exista reticencia sobre este mecanismo en el caso de la cobertura de desastres naturales para los municipios y departamentos, sin embargo, existen argumentos técnicos que permitirían defender el instrumento.

<sup>6</sup> Es importante indicar que con el presente estudio el Gobierno Nacional ya cuenta con información base que le permitiría hacer este tipo de negociaciones con las compañías de seguros. No obstante, se espera que con el tiempo se logre mejorar la información individual de la infraestructura pública nacional, departamental y municipal promoviendo un mejoramiento del inventario o catastro de inmuebles públicos.





## Anexo F

### **DECRETO 4865 DE SEGURO DE TERREMOTO DE COLOMBIA**

Este decreto expedido el 22 de diciembre de 2011 adiciona el Capítulo 4 al Título 4 del Libro 31 de la Parte 2 del Decreto 2555 de 2010 relacionado con la actividad de las entidades aseguradoras. Dicta normas sobre las reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto con el objetivo de contar con un cálculo más preciso de las reservas que respaldan la operación de dicho ramo. Se modifica al régimen vigente estableciendo que las reservas se calcularán de conformidad con modelos técnicos que incluyan variables más precisas para la medición de los riesgos. A continuación se incluye este decreto resultado del avance en el tema en Colombia.

República de Colombia



Ministerio de Hacienda y Crédito Público

4000  
L

DECRETO 4865

22 DIC 2011

Por el cual se modifica el Decreto 2555 de 2010, se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se dictan normas sobre reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto

#### EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA

En uso de sus atribuciones constitucionales y legales, en particular las previstas en los numerales 11 y 25 del artículo 189 de la Constitución Política, en concordancia con los artículos 46 literal d), 48 y 186 del Estatuto Orgánico del Sistema Financiero.

#### CONSIDERANDO

Que en armonía con los objetivos de la intervención en la actividad aseguradora por parte del Gobierno Nacional y los principios orientadores de la misma, las entidades aseguradoras deben contar con reservas técnicas acordes con el nivel y la naturaleza de los riesgos asumidos así como con adecuados niveles patrimoniales que salvaguarden su solvencia y garanticen los intereses de tomadores y asegurados.

Que en desarrollo de lo anterior y con el objetivo de contar con un cálculo más preciso de las reservas que respaldan la operación del ramo de terremoto, se considera necesario introducir modificaciones al régimen vigente estableciendo que las reservas se calcularán de conformidad con modelos técnicos que incluyan variables más precisas para la medición de los riesgos.

#### DECRETA

**Artículo 1.** Régimen de reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto. Se adiciona el Capítulo 4 al Título 4 del Libro 31 de la Parte 2 del Decreto 2555 de 2010, el cual tendrá el siguiente texto:

DECRETO 4865 DE

Página 2 de 5

Continuación del Decreto "Por el cual se modifica el Decreto 2556 de 2010, se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se dictan normas sobre reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto"

#### "CAPÍTULO 4 RÉGIMEN DE RESERVAS TÉCNICAS PARA EL RAMO DE SEGURO DE TERREMOTO

**Artículo 2.31.4.4.1 Definiciones:** Para efectos del presente Capítulo se entenderá por:

- a) Evento sísmico: Corresponde a la ocurrencia de una ruptura o deslizamiento súbito en las rocas del interior de la corteza terrestre provenientes de un hipocentro determinado, dentro de un período específico. Dicho período será determinado por la Superintendencia Financiera de Colombia.
- b) Cartera retenida: Corresponde al valor asegurado en todo el país que queda a cargo de la entidad aseguradora, una vez descontados los contratos de reaseguros proporcionales y no proporcionales, la proporción de coaseguro a cargo de otras entidades aseguradoras y el efecto de los deducibles. Las entidades aseguradoras establecidas en Colombia, no podrán aceptar en reaseguro cartera ubicada en el país, excepto si el reaseguro es facultativo, para lo cual deberán dar cumplimiento a lo establecido en el presente Capítulo.
- c) Cartera total: Corresponde al valor asegurado en todo el país que queda a cargo de la entidad aseguradora, una vez descontados los deducibles y la proporción de coaseguro a cargo de otras entidades aseguradoras.
- d) Prima pura de riesgo de la cartera retenida: Corresponde a la pérdida anual promedio esperada de la cartera retenida por la entidad aseguradora.
- e) Pérdida máxima probable de la cartera retenida: Corresponde a la pérdida máxima esperada, con un período de recurrencia de mil quinientos (1.500) años, de la cartera retenida por la entidad aseguradora, proveniente de un evento sísmico.
- f) Pérdida máxima probable de la cartera total: Corresponde a la pérdida máxima esperada, con un período de recurrencia de mil quinientos (1.500) años, de la cartera total de la entidad aseguradora, proveniente de un evento sísmico.
- g) Factor de pérdida máxima probable de la cartera retenida: Corresponde al cociente entre la pérdida máxima probable de la cartera retenida y la cartera retenida de la entidad aseguradora.

**Parágrafo 1.** El cálculo de la cartera retenida, la prima pura de riesgo de la cartera retenida, la pérdida máxima probable de la cartera retenida, la pérdida máxima probable de la cartera total y el factor de pérdida máxima probable de la cartera retenida a que hace referencia el presente Capítulo, deberá hacerse por lo menos semestralmente, según el modelo de referencia de la Superintendencia Financiera de Colombia, o el de la entidad aseguradora previamente no objetado por dicha Superintendencia.

**Parágrafo 2.** Las entidades aseguradoras establecidas en Colombia que acepten reaseguro facultativo de cartera ubicada en el país, deberán dar cabal cumplimiento a lo establecido en el presente Capítulo, en particular en lo relativo a la constitución y uso de sus reservas técnicas, las cuales deberán incluir la cartera aceptada en Colombia y la cartera aceptada en el exterior. Así mismo, estas entidades deberán contar con una calificación equivalente a la exigida para los reaseguradores del exterior.

**Artículo 2.31.4.4.2. Cálculo de la reserva de riesgos en curso.** Para el ramo de seguro de terremoto, la reserva de riesgos en curso se calculará mediante la utilización del

DECRETO

4065

DE

Página 3 de 5

Continuación del Decreto "Por el cual se modifica el Decreto 2655 de 2010, se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se dictan normas sobre reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto"

sistema de póliza a póliza; las entidades aseguradoras constituirán una reserva equivalente al cien por ciento (100%) de la prima pura de riesgo de la cartera retenida de cada entidad. Los recursos de esta reserva se liberarán para el pago de siniestros en la cartera retenida o conforme a las características del modelo póliza a póliza con destino a la reserva de riesgos catastróficos en las condiciones estipuladas en el artículo 2.31.4.4.3 del presente Decreto.

**Artículo 2.31.4.4.3. Reserva de riesgos catastróficos.** La reserva de riesgos catastróficos del seguro de terremoto se constituirá con los recursos liberados de la reserva de riesgos en curso a que hace referencia el artículo 2.31.4.4.2 del presente Decreto y será de carácter acumulativo hasta completar un valor equivalente al que resulte de multiplicar el factor de pérdida máxima probable de la cartera retenida promedio de los últimos cinco (5) años, por la cartera retenida por parte de la respectiva entidad aseguradora. El saldo de la reserva de riesgos catastróficos sólo podrá liberarse, previa autorización de la Superintendencia Financiera de Colombia, en los siguientes casos:

- a) Para el pago de siniestros de la cartera retenida derivados de la ocurrencia de un evento sísmico, en cuyo caso la liberación sólo será procedente cuando se agote la reserva de riesgo en curso de la cartera afectada. Para hacer uso de la reserva de riesgos catastróficos, la entidad aseguradora deberá acreditar ante la Superintendencia Financiera de Colombia el cumplimiento de las obligaciones derivadas de los contratos de reaseguro que sean exigibles como consecuencia de la ocurrencia del respectivo evento sísmico.

El monto de los recursos liberados del saldo de la reserva de riesgos catastróficos será constituido por la entidad aseguradora como un mayor valor de la reserva de siniestros pendientes a que hace referencia el literal c) del artículo 2.31.4.1.2 del presente Decreto o las normas que lo modifiquen o sustituyan. Cuando el pago de los siniestros resulte inferior al valor correspondiente de la reserva de siniestros pendientes, el excedente deberá restituirse de forma inmediata a la reserva de riesgos catastróficos.

- b) Para el pago de siniestros de la cartera no retenida derivados de la ocurrencia de un evento sísmico, en caso de no pago por parte del reasegurador debido a factores de insolvencia. En este caso la entidad aseguradora deberá presentar a la Superintendencia Financiera de Colombia, dentro de los diez (10) días siguientes a la fecha en que se realice el primer pago por este concepto, un plan orientado a la restitución de dicha reserva.

El mencionado plan no podrá proponer un plazo de restitución superior a seis (6) meses, a menos que la Superintendencia Financiera de Colombia determine, que de acuerdo a condiciones particulares de la entidad aseguradora, se requiera un plazo de ajuste superior.

- c) Cuando el monto de la reserva de riesgos catastróficos sea superior a la pérdida máxima probable de la cartera total y hasta por el exceso sobre dicha pérdida.

**Parágrafo:** Las entidades aseguradoras que decidan incursionar en la suscripción del ramo de terremoto, deberán, dentro de los cinco (5) años siguientes a la fecha en que la

DECRETO . 4865 DE

Página 4 de 5

Continuación del Decreto "Por el cual se modifica el Decreto 2855 de 2010, se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se dictan normas sobre reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto"

Superintendencia Financiera de Colombia les autorice la operación de dicho ramo, acumular la reserva de riesgos catastróficos hasta completar un valor equivalente al que resulte de multiplicar el factor de pérdida máxima probable de la cartera retenida promedio de los años para los cuales exista este cálculo por la cartera retenida, por parte de la respectiva entidad aseguradora.

**Artículo 2.31.4.4.4. Cobertura de la pérdida máxima probable de la cartera total.** La pérdida máxima probable de la cartera total de una entidad aseguradora deberá ser siempre inferior a la suma de la reserva de riesgos catastróficos, la reserva de riesgo en curso, los montos a cargo de reaseguradores en contratos proporcionales y no proporcionales. Dichos montos deberán ser ajustados por cambios en calificación crediticia del reasegurador, de acuerdo a las indicaciones que para tal fin imparta la Superintendencia Financiera de Colombia.

Sin perjuicio de la aplicación de las sanciones a que haya lugar, si por alguna razón la pérdida máxima probable de la cartera total sobrepasa el valor de la suma a la que se refiere el inciso anterior, la entidad aseguradora deberá suspender la suscripción del ramo de terremoto hasta cuando incremente la reserva de riesgos catastróficos o aumente los montos de su cartera a cargo de reaseguradores, en contratos proporcionales y no proporcionales, para cumplir con este requisito, de acuerdo a un plan de ajuste ejecutable en un plazo no superior a veinte (20) días hábiles. Dicho plan deberá ser presentado a la Superintendencia Financiera de Colombia en un plazo no mayor a cinco (5) días calendario contados a partir de la fecha en que se presente la situación descrita.

**Artículo 2.31.4.4.5. Reapertura del ramo.** La entidad aseguradora que opte por el cierre del ramo de seguro de terremoto y posteriormente solicite su reapertura, deberá restituir el monto liberado a la fecha en que se notificó del acto administrativo que revocó la autorización para operar el ramo. Este monto se debe indexar con el Índice de Precios al Consumidor y destinar para la constitución de la reserva de riesgos catastróficos.

**Artículo 2.31.4.4.6. Régimen de transición.** Las entidades aseguradoras que cuenten con autorización para operar el ramo de seguro de terremoto, tendrán dos (2) años para la adecuada implementación del presente Capítulo, contados a partir de la fecha en que la Superintendencia Financiera de Colombia dé a conocer el modelo a que hace referencia el parágrafo del artículo 2.31.4.4.1 del presente Decreto. Durante dicho periodo seguirán aplicando las normas que rigen dicha operación.

En los primeros cinco (5) años posteriores a la fecha en que la Superintendencia Financiera de Colombia dé a conocer el modelo a que hace referencia el parágrafo del artículo 2.31.4.4.1, la reserva de riesgos catastróficos, a que hace referencia el artículo 2.31.4.4.3 del presente Decreto, deberá acumularse hasta completar un valor equivalente al que resulte de multiplicar el factor de pérdida máxima probable de la cartera retenida promedio de los años para los cuales exista este cálculo, por la cartera retenida por parte de la respectiva entidad aseguradora.

**Parágrafo 1.** El monto total de reserva de desviación de siniestralidad que para el ramo de seguro de terremoto hayan constituido las entidades aseguradoras hasta que finalice el periodo de transición previsto en el inciso primero del presente artículo, será transferido a

*Modelación probabilista de las pérdidas económicas por sismo para la estimación de la vulnerabilidad fiscal y la gestión financiera del riesgo soberano*

F.6

DECRETO - 4865 DE

Página 5 de 5

Continuación del Decreto "Por el cual se modifica el Decreto 2555 de 2010, se interviene la actividad de las entidades aseguradoras y se dictan normas sobre reservas técnicas para el ramo de seguro de terremoto"

la reserva de riesgos catastróficos a que hace referencia el artículo 2.31.4.4.3 del presente Decreto y sólo será liberable en los casos previstos en dicho artículo.

**Artículo 2. Vigencias y Derogatorias.** El presente decreto entra en vigencia a partir de la fecha de su publicación y una vez finalizado el periodo de transición a que hace referencia el artículo 2.31.4.4.6 del Decreto 2555 de 2010, quedan derogadas todas las normas que le sean contrarias, en particular el Decreto 2272 de 1993 y el artículo 2.31.4.1.8 del Decreto 2555 de 2010.

PUBLIQUESE Y CÚMPLASE  
Dado en Bogotá D.C., a los



22 DIC 2011

EL MINISTRO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO,



JUAN CARLOS ECHEVERRY GARZÓN

## Anexo G

### RELACIONES ANALÍTICAS ENTRE MEDIDAS DE RIESGO Y LA TASA DE EXCEDENCIA<sup>7</sup>

Sea  $\lambda(I)$  la tasa de excedencia de intensidades, definida como el número medio de eventos por unidad de tiempo cuya intensidad es mayor que el valor  $I$ . También sea  $v(y)$  la tasa de excedencia de las pérdidas; es decir, el número medio de eventos por unidad de tiempo que produce una pérdida mayor que el valor  $y$ . En general,  $v(y)$  se calcula como sigue:

$$v(y) = \int_0^{\infty} -\frac{d\lambda(I)}{dI} \Pr(Y > y | I) dI \quad (\text{G.1})$$

donde  $\Pr(Y > y | I)$  es la probabilidad de que las pérdidas sean mayores que  $y$  dado que un evento con intensidad  $I$  ha ocurrido. El cálculo de estas probabilidades involucra el uso de una función de vulnerabilidad que relaciona pérdidas e intensidad en el sentido probabilista.

El período de retorno de la pérdida  $y$ ,  $Tr(y)$  es definido como el tiempo medio entre eventos que producen pérdidas iguales o mayores a  $y$ . El período de retorno de esta pérdida es el inverso de su tasa de excedencia:

$$Tr(y) = \frac{1}{v(y)} \quad (\text{G.2})$$

La distribución de la probabilidad de la pérdida durante el próximo evento,  $P(y)$ , es la probabilidad de que la pérdida sea menor que  $y$  en el próximo evento. Esta distribución está dada por:

$$P(y) = \Pr(Y > y) = 1 - \frac{v(y)}{v(0)} \quad (\text{G.3})$$

---

<sup>7</sup> Con la contribución del Profesor Mario G. Ordaz



donde  $v(0)$  es el número medio de eventos por unidad de tiempo. Por definición,  $v(\infty)=0$ . La función de densidad de probabilidades de la pérdida durante el próximo evento puede ser obtenida mediante la derivación de la ecuación G.4:

$$P(y) = -\frac{1}{v(0)} \frac{dv(y)}{dy} \quad (G.4)$$

Si el proceso de ocurrencia del evento es del tipo de Poisson, entonces la probabilidad de que la máxima pérdida en un año sea mayor a un valor dado,  $z$ , es la siguiente:

$$P(y_{max} > z) = -1 - e^{-v(z)} \quad (G.5)$$

También bajo el supuesto de un proceso Poissoniano, la probabilidad de tener al menos un evento produciendo pérdidas igual o mayor a  $y$  en los próximos  $T_E$  años,  $P_0$ , esta dado por:

$$P_0 = -1 - e^{-v(y)T_E} \quad (G.6)$$

De la suposición de Poisson, también se sigue que la función de densidad de probabilidades de los tiempos entre eventos que producen pérdidas iguales o mayores a  $y$  es una exponencial con el parámetro  $v(y)$ , es decir:

$$P_t(t) = v(y)e^{-v(y)t} \quad (G.7)$$

La pérdida anual esperada está definida como el valor medio de la suma de pérdidas en un año. Esta puede calcularse de la siguiente manera:

$$\bar{y} = v(0) \int_0^{\infty} yp(y)dy \quad (G.8)$$

donde  $p(y)$  está dado en la ecuación G.4. Reemplazando G.4 en G.8 conduce a:

$$\bar{y} = -\int_0^{\infty} y \frac{dv(y)}{dy} dy = -\int_0^{\infty} ydv(y) \quad (G.9)$$

La ecuación G.9 muestra que la pérdida anual esperada puede ser calculada mediante la integración de la curva de tasas de excedencia de perdidas.

La pérdida anual esperada en el campo de los seguros se le conoce como la prima pura o prima técnica. Es el valor esperado de la pérdida que se tendría en un año cualquiera, suponiendo que el proceso de ocurrencia de los eventos es estacionario y que a las estructuras dañadas se les restituye su resistencia inmediatamente después del evento (Esteva 1970).

El concepto de período de retorno parece implicar la noción de periodicidad, así que las personas actúan como si creyeran que la probabilidad de tener un desastre de la clase analizada aumenta mientras el tiempo de espera se aproxima al período de retorno. Aunque modelos de algunos procesos de espera tienen esta peculiaridad, la evidencia empírica demuestra que, para la mayoría de los casos, un modelo Poisson es una mejor representación del proceso de ocurrencia de desastres en el tiempo.

Como se mencionó, si el tiempo de ocurrencias es Poissoniano, entonces los tiempos entre eventos son independientes y exponencialmente están relacionados con el parámetro  $\lambda$ ; esta cantidad es exactamente la tasa de excedencia del desastre o, en otras palabras, el inverso de su período de retorno (ver expresión G.6). Por lo tanto, la probabilidad,  $P_F$ , de tener por lo menos un desastre de la clase analizada en los próximos  $T_E$  años (usualmente llamado el *tiempo de exposición*) puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$P_F = 1 - e^{-\frac{T_E}{T_R}} \quad (\text{G.10})$$

Los resultados son, de alguna manera, sorprendentes. Por ejemplo, incluso cuando se habla sobre un desastre relativamente poco frecuente –aquel con un período de retorno de 100 años– la probabilidad de tener al menos alguno de estos eventos el año siguiente es aproximadamente del 1% (es, obviamente, no imposible), y la probabilidad de tener este desastre dentro de los próximos 10 años es cerca del 10%. Para un desastre más frecuente ( $T_R=20$  años), la probabilidad de experimentar uno de su clase (o mayor) el año entrante es del 5%, mientras, que el de sufrirlo en 10 años es del 40%. Por referencia, se han incluido algunos de estos valores en la Tabla G.1.

**Tabla G.1** Probabilidad de tener al menos un desastres de un período de retorno  $T_R$  en los próximos  $T_E$  años

Tiempo de exposición, $T_E$ (los próximos $N$ años)	Período de Retorno del evento , $TR$ (años)		
	20	50	100
1	5%	2%	1%
5	22%	10%	5%
10	39%	18%	10%
20	<b>63%</b>	33%	18%
50	92%	<b>63%</b>	39%
100	99%	86%	<b>63%</b>
200	100%	98%	86%

La experiencia indica que el riesgo es mejor percibido cuando se expresa en términos de probabilidades de excedencia en espacios de tiempo determinados (la “probabilidad de ruina” del análisis probabilista clásico) que cuando se especifica en términos del período de retorno de la “ruina”.



## Anexo H

# DESCRIPCIÓN DEL SEGURO COLECTIVO DE MANIZALES

Manizales cuenta en la actualidad con una póliza colectiva de seguros voluntarios para proteger los estratos de población más pobres. Se trata de una alianza en la que la administración municipal facilita, mediante sus procesos de sistematización de información, el cobro y recaudo de un seguro de daños para cada predio de la ciudad de acuerdo con el valor catastral del inmueble. Este cobro, que es voluntario, se ha realizado desde 1999 utilizando la factura del impuesto predial unificado, que en el caso de Manizales, se elabora cada dos meses o anualmente con un descuento si el pago de predial se hace anticipadamente. La factura ha incluido, en consecuencia, un formato que permite al contribuyente pagar sólo su impuesto predial o con una adición que corresponde a la prima estimada del seguro, obtenida del valor catastral del predio, y su respectivo impuesto al valor agregado.

Esta modalidad de aseguramiento colectivo se le denominaba Muni-predios hasta finales del 2004 y posteriormente el mecanismo se rediseñó y perfeccionó de acuerdo con lo que aquí se ha descrito. Según la información suministrada por la administración municipal, originalmente el promotor (asesor de seguros de Muni-predios) recibía el 6% del valor de las primas recaudadas sin incluir el IVA por el servicio de sistematización, procesamiento de datos, liquidación y recaudo debidamente autorizado por el contribuyente. Tanto en el caso del instrumento original como el que actualmente está vigente, el valor neto de las primas recaudadas se traslada a la compañía de seguros, la cual mediante el procedimiento y acuerdo de exclusividad de comercialización que se tenía establecido, con el promotor inicialmente, tenía una póliza colectiva y una relación contractual directamente con el asegurado, debido a que el contrato del promotor con la administración municipal tenía un objeto diferente al de seguros. Actualmente ya no existe la figura del promotor dado que el acuerdo existe entre la administración municipal y la compañía de seguros. De esta forma la administración municipal actúa exclusivamente como entidad recaudadora de la prima y por lo tanto no soluciona ni tramita las reclamaciones derivadas de la póliza, que es una actividad propia de la compañía de seguros.

El atractivo y beneficio social de este seguro, originalmente, era que una vez el 30% de los predios asegurables del área municipal (es decir de aquellos que pagan el impuesto predial) pagaban la prima correspondiente, la protección del seguro se extendía a aquellos predios que por su valor y estrato estuvieran exentos de dicho gravamen; entendiéndose que actuarialmente se incorporaba el costo correspondiente a

la prima de los predios que pagaban el seguro. Los predios exentos corresponden a inmuebles de propiedad de algunas entidades de apoyo social y a los estratos de más bajos recursos que cubren propietarios y poseedores en condiciones legales del nivel 1 y 2. La posibilidad de cubrir los estratos más pobres y el promover, en general, la cultura del seguro hacían que esta figura fuese de especial interés para las entidades del antes Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres (hoy Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres). Desafortunadamente, durante los cinco años en que existió el mecanismo original, en ninguno de los bimestres se logró alcanzar el porcentaje que permitía el cubrimiento de los predios exonerados. Es importante mencionar que esta situación se debía en parte a la falta de una fuerte y masiva campaña publicitaria (incluso cuando habían ocurrido sismos u otros eventos que sensibilizan a la población), que debía hacer el promotor, pero que debido a que la retribución que recibía no dependía del logro del porcentaje pactado, no existía presión alguna para que realizara su mejor esfuerzo. Por otra parte, no se había hecho un procedimiento que le facilitara a los que ya habían pagado el impuesto de todo el año y que no habían pagado el seguro, que lo pudieran pagar, por ejemplo, bimestral o semestralmente. En otras palabras la promoción fue muy deficiente, lo que se demostró por la reducción paulatina de participantes en el programa, aun cuando habían ocurrido desastres tanto en las ciudades vecinas como en la misma ciudad.

A partir del 2004, el Banco Mundial apoyó a través del Departamento Nacional de Planeación y la Administración Municipal una iniciativa que condujera a perfeccionar el instrumento que se venció en octubre de 2004. Desde el punto de vista técnico se detectó que no se había tenido en cuenta que dentro del número de predios asegurados no se contabilizan los predios del municipio y de las entidades descentralizadas del mismo; asegurados con la misma compañía de seguros. Dado el valor asegurable de estos predios públicos, se podría llegar a negociar su participación. De hecho una de las inquietudes que surgieron del análisis de este producto es que no se consideraban los valores asegurados, sino el número de predios que pagaban o no el seguro independiente de su valor. Este aspecto demostró ser muy relevante desde el punto de vista técnico y económico del seguro. En otras palabras, no se tenía una evaluación cuidadosa e idónea que soportara el programa original, que demostrara la equivalencia o calibración entre las estimaciones de pérdidas con base en valores asegurados y el porcentaje pactado para proteger a los predios exentos. Esto colocaba en riesgo no solamente a la compañía de seguros sino a la Administración Municipal al menos en términos políticos. Por esta razón, los resultados del estudio, apoyado por el Banco Mundial, y realizados como aquí se describe en el Capítulo 9, se utilizaron para replantear las condiciones generales de la póliza de aseguramiento colectivo de la ciudad.

En general se consideró que si bien este seguro colectivo era atractivo, también era necesario revisar y reevaluar alternativas diferentes a la figura del instrumento conocido como Muni-predios. Aunque el instrumento era novedoso y había sido un buen comienzo, el instrumento tendría que perfeccionarse con base en las evaluaciones técnicas y científicas disponibles sobre el riesgo de la ciudad. A finales de 2005 varios corredores y compañías de seguros hicieron propuestas de instrumentos alternativos, sin embargo con base en los estudios que aquí se presentan por solicitud de concepto por parte de la Administración Municipal, se evaluaron las Pérdidas Máximas Probables

(PML) y de primas predio por predio de la ciudad. Con base en estos estudios se diseñó un nuevo esquema que considerara la cobertura de todos los predios exentos en cualquier caso, en particular porque hasta finales de 2004 se pudo constatar que siempre la ciudad había tenido más del 15% de los predios pagando el seguro voluntario.

El nuevo programa de aseguramiento colectivo, denominado "Manizales predio seguro" se estableció bajo un acuerdo entre la compañía de seguros La Previsora y la Administración Municipal varios años después de que se había terminado el instrumento anterior. La prima que se acordó con la compañía de seguros es del 2.2 por mil anual. El deducible es del 3% del valor de la pérdida en caso de terremoto y un mínimo tres SMMLV. En el caso de otros fenómenos naturales o eventos como huelga, motín, asonada, conmoción civil o popular, actos mal intencionados de terceros o terrorismo el deducible se acordó en un 10% de la pérdida del inmueble afectado y un mínimo de dos SMMLV. La compañía de seguros emitió una póliza matriz, cuyo tomador es el Municipio, que reposa en la Alcaldía, en una notaría y en la sucursal de la compañía de seguros en la ciudad para revisión de los ciudadanos. Este instrumento inicialmente tenía como beneficio el aseguramiento de todos los inmuebles exentos del impuesto predial cuando el 20% del valor asegurable del portafolio de los predios que están obligados a pagar el impuesto predial unificado participan en el programa con el pago de la prima de seguro que les corresponde. No obstante, en caso de que no se alcanzara el 20% del valor asegurable del portafolio, la compañía de seguros cubría parcialmente a los inmuebles exentos (que en este caso son los inmuebles destinados a viviendas urbanas y rurales cuyo avalúo no sea superior a 25 salarios mínimos mensuales legales vigentes SMMLV) de acuerdo a una tabla de rangos que va desde \$300,000 pesos, en el caso de que sólo entre el 1% y el 5% participaran, hasta \$10,000,000 de pesos cuando se alcanzaba el 20% del valor asegurable del portafolio. No obstante, dado que el nivel más bajo de participación de los predios que pagan el impuesto predial había sido del 12.4%, lo que significa que todos los predios exentos, en ese caso, estarían cubiertos en un valor del orden de \$5,500,000 pesos, se acordó posteriormente que todos los predios exentos serían cubiertos sin perjuicio del porcentaje de participación de los no exentos. Actualmente, el deducible es del 3% del valor de la pérdida en caso de terremoto y mínimo medio SMMLV. Para otros fenómenos u otros eventos el deducible es del 10% del valor de la pérdida y mínimo medio SMMLV. Este instrumento de protección financiera es una buena práctica desde la perspectiva de la transferencia de riesgos (entre el gobierno y el sector privado) que se ha venido perfeccionando con estudios cuidadosos de carácter técnico-científico y actuarial y que constituye una experiencia exitosa que se puede replicar en otras ciudades de la región.