

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SEGURO DE RIESGO SÍSMICO PARA CUBRIR LOS EDIFICIOS PRIVADOS A TRAVÉS DE UNA ESTRATEGIA DE SUBSIDIO CRUZADO

### **M.C. Marulanda**

Universidad Politécnica de Cataluña. Campus Norte UPC, C/ Jordi Girona 1-3, Edificio C1, 08034 Barcelona, España.

[mmarulan@cimne.upc.edu](mailto:mmarulan@cimne.upc.edu)

### **O.D. Cardona**

Universidad Nacional de Colombia, Campus Palogrande. IDEA, Cra. 27 No. 64-60, Manizales, Colombia.

[odcardona@unal.edu.co](mailto:odcardona@unal.edu.co)

### **M.G. Mora**

Universidad Politécnica de Cataluña. Campus Norte UPC, C/ Jordi Girona 1-3, Edificio C1, 08034 Barcelona, España.

[mgmora@cimne.upc.edu](mailto:mgmora@cimne.upc.edu)

### **A.H. Barbat**

Universidad Politécnica de Cataluña. Campus Norte UPC, C/ Jordi Girona 1-3, Edificio C1, 08034 Barcelona, España.

[alex\\_barbat@upc.edu](mailto:alex_barbat@upc.edu)

### RESUMEN

Este artículo describe cómo un modelo de riesgo catastrófico –basado en métricas como la Pérdida Máxima Probable y la Pérdida Anual Esperada – ha sido utilizado para estimar, edificio por edificio, las pérdidas probables de diferentes portafolios de elementos expuestos. Igualmente explica el diseño del instrumento de transferencia de riesgo para cubrir las edificaciones privadas en Manizales, Colombia, que no sólo ha promovido la cultura del seguro sino que cubre a los propietarios de más bajos ingresos a través de una estrategia de subsidio cruzado. Este instrumento es un seguro voluntario colectivo promovido por la administración de la ciudad y la industria aseguradora, cuyo pago se realiza mediante la factura del impuesto predial. El programa proporciona protección financiera no solo a los que suscriben el seguro a través del pago de la prima incluida en el formulario del impuesto predial sino también a los individuos de bajos recursos que no pagan el impuesto debido a sus ingresos limitados. Adicionalmente, el seguro colectivo es útil para que el gobierno pueda acceder a recursos claves para la recuperación de los menos favorecidos y a mejorar la gestión de riesgos de desastres a nivel local.

**Palabras clave:** Riesgo sísmico, instrumentos aseguradores, modelo de riesgo de catástrofe, pérdida máxima probable, pérdida anual esperada, prima de riesgo.

### SUMMARY

This paper discusses how a catastrophe risk model –based on metrics such as the Probabilistic Maximum Loss and the Average Annual Loss– has been used to estimate, building

174 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**

by building, the probabilistic losses of different portfolios of exposed elements. It also explains how a risk transfer instrument to cover the private housing in Manizales, Colombia, was designed, promoting the insurance culture and covering the low-income homeowners through a cross-subsidy strategy. This instrument is a voluntary collective insurance promoted by the city administration and the insurance industry, using the mechanism of the property-tax payment. The program provides financial protection not only to the estate-tax payers but also to the low-income homeowners that cannot pay the tax due to their income limitations. This collective insurance helps the government to access key resources for low-income householder recovery and improve disaster risk management at local level.

**Keywords:** Seismic risk, insurance instruments, catastrophe risk model, probable maximum loss, expected annual loss, risk premium

## 1. INTRODUCCIÓN

El riesgo de los desastres no sólo depende de la posibilidad que se presenten eventos o fenómenos naturales intensos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan que se desencadenen desastres cuando se presentan dichos fenómenos. La vulnerabilidad está íntimamente ligada a los procesos sociales que se desarrollan en las áreas propensas y usualmente tiene que ver con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de la población ante amenazas de diferente índole. En otras palabras, los desastres son eventos socio-ambientales cuya materialización es el resultado de la construcción social del riesgo. Por lo tanto, su reducción debe hacer parte de los procesos de toma de decisiones, no sólo en el caso de reconstrucción pos desastre, sino también en la formulación de políticas públicas y la planificación del desarrollo. Por esta razón, es necesario fortalecer el desarrollo institucional y estimular la inversión para la reducción de la vulnerabilidad con fines de contribuir al desarrollo sostenible de los países.

La identificación de las condiciones de riesgo al igual que las medidas de reducción de riesgo de desastres y la implementación de acciones de desarrollo son elementos claves para buscar un equilibrio entre los factores económicos, sociales y ambientales para lograr un desarrollo sostenible. El proceso de desarrollo debe involucrar una serie de acciones a largo plazo para lograr los objetivos propuestos. Sin embargo, la creación de una cultura de prevención no es una tarea fácil dado que los costos para la prevención o mitigación de riesgos deben ser pagados en el presente y sus beneficios se podrán obtener en un futuro lejano pero de manera intangible, pues, los beneficios son el desastre que no pasó como lo señala Kofi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas, en 1999. Sumado a lo anterior, usualmente, previo a una catástrofe, los individuos subestiman la posibilidad de un desastre; las personas expuestas a la posibilidad de una pérdida catastrófica tienden a ignorar el evento hasta que este ocurre (Marulanda et al 2008a). Por esta razón, la incorporación formalmente del riesgo de desastre en los procesos de planificación ha sido hasta ahora muy tímida y en la mayoría de los países en desarrollo se incluyen procesos principalmente para la preparación y atención de emergencias.

Desde el punto de vista financiero, si no se valora la exposición contingente ante las amenazas naturales se limita la capacidad para evaluar qué tan deseables son las herramientas de planeamiento para hacer frente al riesgo. Por lo tanto, es esencial estimar el presupuesto tanto de la respuesta a emergencias como de recuperación y reconstrucción (Pollner, 2001; Andersen, 2002). Si no se contabilizan las pérdidas contingentes potenciales se carece de la información necesaria para considerar y evaluar alternativas ex ante necesarias para reducir o financiar dichas pérdidas (Marulanda et al 2008a; 2010a; Cardona, 2009). Es muy importante remarcar que la protección financiera debe ser una política permanente y de largo término, que puede ser más amplia de acuerdo a la conciencia que exista del riesgo, la cultura de la seguridad y la prosperidad económica (Freeman et al 2003). Dado que si bien es posible adoptar decisiones de política con cierto tipo de aproximaciones o sin estimaciones

probabilistas<sup>1</sup>, el hecho de no cuantificar el riesgo cuando es posible hacerlo limita el proceso de toma de decisiones desde la perspectiva de la planificación física, la reducción y la financiación del riesgo. Si las pérdidas futuras no son un componente del proceso de planificación e inversión del país, es casi imposible mantener recursos presupuestarios para reducir dichos pérdidas potenciales. Es importante recordar que el aseguramiento, o en general, las estrategias de financiación del riesgo no son una medida de mitigación estrictamente hablando porque estas no reducen el daño y su objetivo es cubrir las pérdidas una vez el daño se ha materializado (Cardona et al 2008b). Sin embargo, la experiencia mundial ha demostrado que el aseguramiento tiene dos grandes ventajas: “estimula la prevención y garantiza la financiación y eficiencia en las actividades de reconstrucción post-desastre” (Vargas, 2002).

Ahora bien, la historia de los desastres en Colombia es notable debido a los eventos tanto extremos como pequeños y recurrentes que han afectado continuamente al país. Este problema socio-ambiental que tiene grandes implicaciones afecta el nivel local de una manera crónica, particularmente, a las personas con menores capacidades socio-económicas generando un efecto negativo alto en el desarrollo. En particular, en Manizales, una ciudad localizada en el centro occidente de Colombia, con aproximadamente 380 mil habitantes, presenta condiciones geológicas especiales como una alta sismicidad, presencia de fallas geológicas activas, suelos constituidos por cenizas volcánicas y no consolidados con una topografía abrupta que la hacen propensa a varios tipos de amenazas tales como sismos, deslizamientos, erupciones volcánicas, entre otras. Adicionalmente, el crecimiento demográfico y la 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 por las características mencionadas previamente ha llevado a la ciudad de Manizales a crear una cultura del riesgo que se ha visto reflejada en las diversas acciones y políticas de gestión del riesgo implementadas, que se ha logrado 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, emprendió una serie análisis y estimaciones de posibles instrumentos financieros disponibles y convenientes para los ciudadanos, definiendo para su diseño e implementación el seguro colectivo voluntario para proteger las edificaciones tanto del sector público como privado de la ciudad. 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 el únicamente el pago del impuesto (Marulanda, 2009).

El atractivo y beneficio social de este seguro colectivo consiste en que una vez un porcentaje o umbral definido del valor de los predios asegurables del área municipal –es decir, de aquellos que pagan el impuesto predial– paga la prima correspondiente, la protección del seguro se extiende a aquellos predios que por su valor y estrato social están exentos de dicho gravamen. Los predios exentos corresponden a los estratos de más bajos recursos, que son tanto propietarios como poseedores en condiciones legales de los niveles 1 y 2. La posibilidad de cubrir los estratos socio-económicos más pobres de la población y el promover, en general, la cultura del seguro en la ciudad son objetivos de especial interés de la administración municipal, cuya responsabilidad es el recaudo de las primas a través de la factura del impuesto predial. La compañía de seguros es el organismo que tiene la relación contractual directa con

---

<sup>1</sup> Lo que permite establecer pérdidas máximas probables (PMP) y la pérdida anual esperada o prima pura de riesgo resultado de la estimación de curvas de excedencia de pérdidas.

176 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**

el asegurado, por lo tanto es quien soluciona y tramita las reclamaciones derivadas de la póliza.

Este instrumento de protección financiera se perfeccionó con base en los estudios técnicos y científicos de amenaza y riesgo sísmico que la OMPAD ha promovido desde años atrás y sin los cuales no sería posible. Con base en estos estudios se diseñó el esquema que permite hoy cubrir todos los predios exentos con bases técnicas y financieras robustas. El esquema o mecanismo de transferencia de riesgo de desastres de los edificios públicos de Manizales ha sido el resultado del desarrollo de una serie de evaluaciones usando un modelo sofisticado de riesgo catastrófico del portafolio de edificios privados constituido con fines de evaluación de primas de riesgo y pérdidas probables.

**2. MODELO DE RIESGO CATASTRÓFICO.**

Las metodologías existentes para el cálculo del riesgo no son muchas y se basan en el mismo enfoque. La estimación del riesgo se debe enfocar en modelos probabilistas que permitan emplear la escasa información disponible para predecir posibles escenarios catastróficos en los cuales se considere la alta incertidumbre involucrada en el análisis. En general se cuenta con una limitada cantidad de datos e información histórica acerca de eventos catastróficos, debido en algunos casos a la ocurrencia de desastres de baja frecuencia de repetición, y en otros casos a desastres con una ventana temporal de atención reciente y corta. Debido a que en los modelos son inherentes las grandes incertidumbres relacionadas con las características de la severidad y frecuencia de los eventos, así como las pérdidas causadas por dichos eventos, el modelo de riesgo está basado en formulaciones probabilistas que incorporan esta incertidumbre en el modelo de evaluación del riesgo. En consecuencia, la evaluación del riesgo debe seguir un enfoque prospectivo, anticipando eventos de ocurrencia científicamente probable que puedan presentarse en el futuro (Ordaz, 2000).

Para medir la frecuencia y la severidad de las pérdidas potenciales se utilizan métodos científicos robustos que tienen en cuenta la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos; por ejemplo sismos, huracanes, inundaciones. Adicionalmente estos modelos contienen las relaciones entre intensidad del fenómeno y los daños de los activos expuestos, también conocidas como relaciones de vulnerabilidad. A partir de estas relaciones se determina el monto de los daños que sufriría un portafolio de estructuras si un evento, en el sitio de ubicación, produjera una intensidad dada (Woo, 1999). El modelo de riesgo sísmico probabilista está basado en una secuencia de módulos: amenaza sísmica, exposición, vulnerabilidad, daño y pérdida y transferencia y retención del riesgo (Woo 1999, Grossi y Kunreuther 2005; Cardona eta 2008a/b/c/d).



**Figura 1.** Modelo probabilista de evaluación de riesgo catastrófico.

La figura 1 ilustra esquemáticamente los pasos necesarios para evaluar el riesgo y diseñar las alternativas de gestión y protección financiera.

El desarrollo y aplicación de modelos de riesgo catastrófico permite evaluar el riesgo de desastres debido a fenómenos naturales y más específicamente la evaluación de pérdidas máximas probables de eventos extremos en un área específica. Los modelos permiten estimar las pérdidas que una ciudad o un país tendría y, por lo tanto, son útiles para definir las responsabilidades del gobierno debido a desastres futuros. De esta forma es posible calcular los costos de reposición de las edificaciones afectadas. Entender las pérdidas probables y los costos de reconstrucción debido a sismos establece incentivos poderosos para desarrollar opciones de planeación y herramientas para manejar el riesgo tal como el seguro colectivo.

Así pues, 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 y Santa Cruz 2003; Cardona et al 2008b). 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 y Santa Cruz 2003, Grossi y Kunreuther 2006, Cardona et al 2008b).

## 2.1. Estimación de la amenaza sísmica.

La amenaza asociada a un fenómeno natural se mide utilizando la frecuencia de ocurrencia y la severidad de los eventos, caracterizada mediante algún parámetro de intensidad del peligro en una ubicación geográfica específica. La evaluación de la amenaza está basada en la frecuencia histórica de eventos con sus diferentes grados de intensidad. Una vez se definen los parámetros que caracterizan la ocurrencia de los fenómenos desde el punto de vista técnico-científico, es necesario generar un conjunto de eventos estocásticos –mediante la simulación de una serie de eventos aleatorios– que analíticamente definen la frecuencia y severidad del fenómeno peligroso, representando así la amenaza o probabilidad de ocurrencia de eventos en la región estudiada.

En muchos casos, las estimaciones de amenaza son obtenidas de estudios regionales, o suponiendo condiciones ambientales promedio. Por ejemplo, los mapas de amenaza sísmica son producidos usualmente tomando las condiciones promedio de suelo firme, o sea, asumiendo que no hay amplificaciones importantes de intensidad sísmica debido a suelos blandos. No obstante, para cada tipo de amenaza, podrían existir características ambientales particulares en las ciudades bajo estudio que ocasionan que las intensidades puedan ser mayores o menores que las intensidades en sus cercanías. Es decir, podrían existir características ambientales que son diferentes a aquellas correspondientes a las usadas en el modelo de evaluación del riesgo. Estas características son conocidas como *condiciones de sitios locales*, y ellas permiten la aparición de *efectos de sitio locales*.

De esta manera, para la amenaza sísmica, la primera parte que se investiga es la tectónica del territorio, y la sismicidad que las fuentes generan en una región de terminada caracterizada mediante parámetros como la recurrencia de magnitudes, la magnitud máxima y la tasa de recurrencias de sismos. Una vez determinadas estas variables se evalúan los efectos en términos de intensidad sísmica que produce cada una de las fuentes generadoras en el sitio de interés o patrones de atenuación de las ondas generadas, y, posteriormente se puede calcular la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las

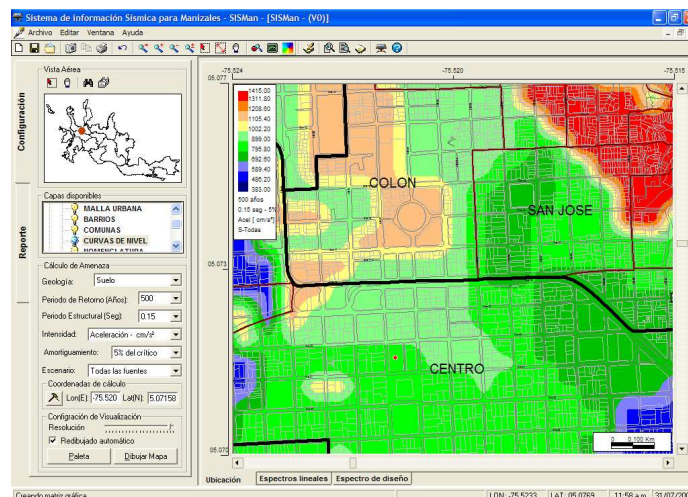
178 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**

fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura.

En el caso de Manizales, por tratarse de suelos de origen volcánico, su microzonificación sísmica es bastante particular. Las características dinámicas no lineales de sus suelos se obtuvieron mediante pruebas *in situ*<sup>2</sup> y de comportamiento dinámico en el laboratorio<sup>3</sup>. Las funciones de transferencia para los depósitos de cenizas volcánicas se desarrollaron con base en un modelo no lineal que permitió obtener los Espectros de Amplitudes de Fourier (EAF), a nivel de la superficie del terreno, y con base en estos EAF se obtuvieron los espectros de peligro o amenaza uniforme para cualquier sitio de la ciudad, siguiendo la teoría clásica de la evaluación de la amenaza sísmica. En forma simultánea, se llevaron a cabo análisis de sensibilidad para las diversas variables implicadas, así como también simulaciones de Monte Carlo de procesos no estacionarios. Los efectos de la amplificación sísmica causados por el tipo de formas topográficas de la ciudad se evaluaron mediante análisis bidimensionales<sup>4</sup> y para el análisis de la respuesta en el tiempo de los depósitos de suelo y de las estructuras representativas se generaron terremotos artificiales<sup>5</sup> (Yamín 2004).

De esta manera la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres (OMPAD) de la Alcaldía de Manizales, con el apoyo técnico y científico de la Universidad de los Andes y el acompañamiento y supervisión de la Universidad Nacional de Colombia (UNC), sede Manizales, logró contar con los espectros de respuesta (aceleración, velocidad y desplazamiento) para cualquier sitio de la ciudad con fines de diseño sismorresistente. Esta información, que se puede obtener a nivel de predio mediante el programa Información Sísmica para Manizales (SISMan) (ITEC 2004), como se ilustra en la Figura 2, no sólo es un insumo de especial importancia para la aplicación de las normas de construcción sismorresistente sino para los estudios de riesgo sísmico, el aseguramiento de edificaciones y la preparación para la respuesta a emergencias sísmicas futuras.

Actualmente, 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), cuya primera estación está en proceso de construcción en el marco del convenio de UNC con la UNAM de México y que servirá para la evaluación inmediata sin intervención humana en casi tiempo real de los posibles daños que se hayan presentado en la ciudad en caso de un terremoto fuerte.



**Figura 2.** El programa SISMan permite conocer las exigencias de diseño sísmico.

<sup>2</sup> Cono sísmico, presiómetro cíclico, velocidad de onda de cortante down hole

<sup>3</sup> triaxial cíclico, columna resonante, velocidad de onda de cortante

<sup>4</sup> utilizando el sistema QUAD-4M

<sup>5</sup> utilizando la teoría sismológica del modelo Omega cuadrado siguiendo el procedimiento empírico de las funciones de Green

## 2.2. Exposición

La exposición se refiere principalmente a los componentes de infraestructura o a la población expuesta que puede verse afectada por un evento determinado. Para realizar la caracterización de la exposición es necesario identificar los diferentes componentes individuales incluyendo su ubicación geográfica, sus características geométricas, físicas e ingenieriles principales, su vulnerabilidad ante el evento peligroso, su valoración económica y el nivel de ocupación humana que puede llegar a tener en un escenario de análisis determinado. La base de datos de exposición de las edificaciones privadas de Manizales se conformó con base en la información proporcionada por la administración pública a través de la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres (OMPAD) e información detallada obtenida de bases de datos de otras entidades del municipio, y se incluyeron parámetros adicionales mediante el levantamiento de información a partir de fotografías aéreas, visitas de campo y mapas, lo que contribuyó a mejorar la confiabilidad de los datos. Adicionalmente, se utilizó un algoritmo de optimización, con el fin de realizar un control de la información y deducir el sistema estructural a partir de la información disponible de las diferentes fuentes. 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).

De esta forma se constituyó la base de datos para el cálculo del riesgo sísmico con variables representativas como: valor asegurado, estrato socio-económico, fecha de construcción, número de pisos, sistema estructural y localización. Para el análisis de las edificaciones privadas de Manizales 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 la base de datos obtenida y teniendo en cuenta que el propósito del proyecto es la protección de todos los ciudadanos de la ciudad de Manizales, incluidas las personas de bajos recursos, 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 1 presenta el número de registros y el valor asegurado correspondiente a cada portafolio de análisis (Marulanda 2009).

**Tabla 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	Inmuebles privados exentos de impuesto predial	15.342	18%	\$ 78.590	3%
2	Inmuebles privados no exentos de impuesto predial	70.474	82%	\$ 3.046.606	97%
3	Inmuebles privados totales	85.816	100%	\$ 3.125.196	100%

## 2.3. Vulnerabilidad de edificios.

La caracterización de la vulnerabilidad física se realiza mediante la generación de funciones que relacionan el nivel de daño de cada componente con la intensidad del fenómeno que caracteriza la amenaza. La función de vulnerabilidad debe estimarse para cada uno de los tipos constructivos característicos de manera que puedan asignarse a cada uno de los elementos que constituyen la base de datos de exposición. Mediante las funciones de vulnerabilidad es posible estimar el daño o los efectos producidos en cada uno de los activos

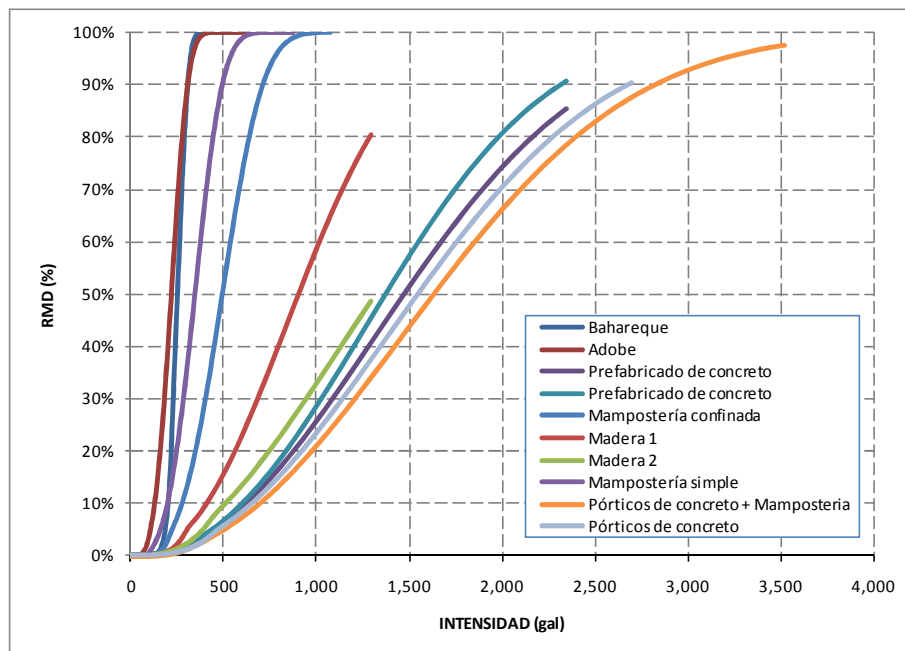


180 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**

ante la acción de cada evento caracterizado por alguno de los parámetros de intensidad del fenómeno que se está considerando. Cada función de vulnerabilidad está definida por un valor medio de daño y su varianza, con lo cual es posible estimar su función de probabilidad respectiva. La varianza da cuenta de la incertidumbre asociada en este proceso del cálculo de riesgo catastrófico.

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

Las curvas de vulnerabilidad que se utilizan en el modelo utilizan son 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. El grado de vulnerabilidad de la edificación y de los contenidos se califica teniendo en cuenta los aspectos principales reconocidos durante la visita de inspección. Luego se determinó a qué tipo pertenece cada una de las estructuras estudiadas, con el fin de estimar su vulnerabilidad teniendo en cuenta tanto aspectos generales como particulares. En el sistema se incluye un total de 20 tipos de construcciones como se muestra en las Figuras 3 y 4. El sistema también permite el uso de curvas de vulnerabilidad específicas para otros tipos estructurales (Cardona et al 2008a/b/c/d).



**Figura 3.** Curvas de vulnerabilidad basadas en la aceleración máxima.



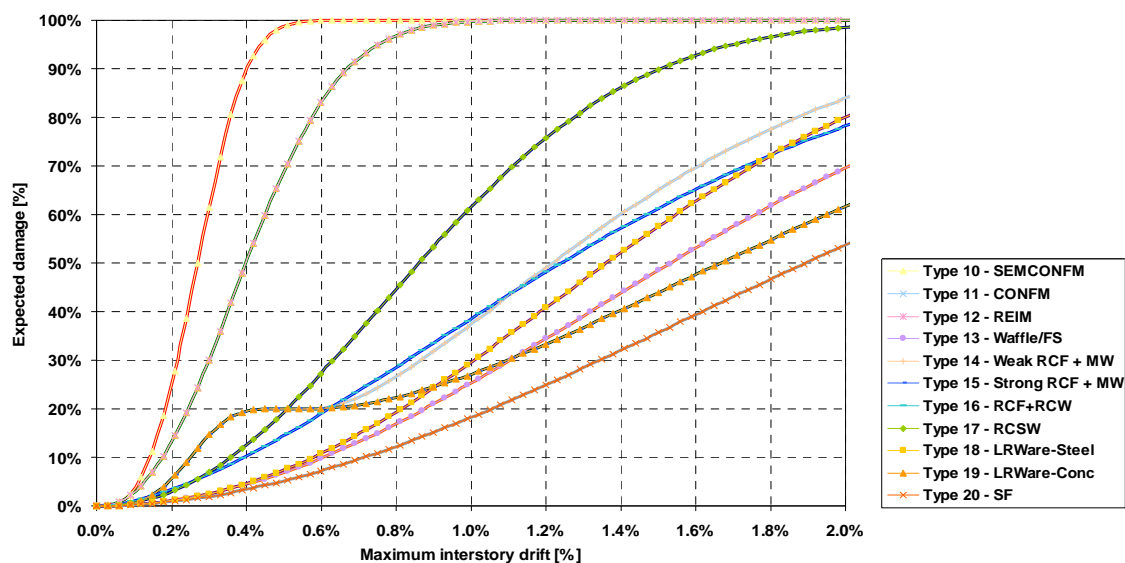


Figure 4. Curvas de vulnerabilidad basadas en la deriva.

#### 2.4. Evaluación de daño y pérdida.

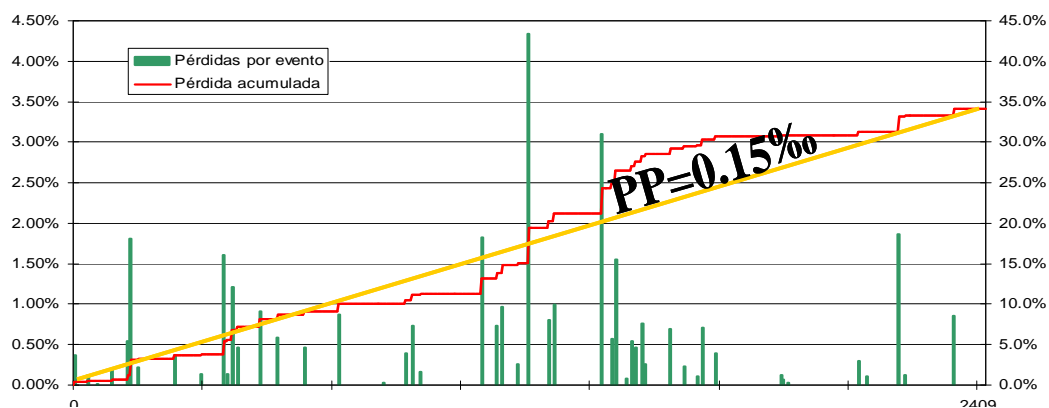
Con base en los modelos de amenaza probabilistas propuestos y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes se desarrolla la modelación de pérdidas probabilística para el país o zona de análisis.

Para calcular las pérdidas asociadas a un evento determinado, la relación media de daño, RMD obtenida de la función de vulnerabilidad, se convierte en pérdida económica multiplicándola por el valor de reposición del componente. Esta operación se repite para cada uno de los activos o elementos en el inventario de activos expuestos para cada uno de los eventos analizados. Durante este proceso de evaluación para los eventos factibles y el grado de vulnerabilidad de cada componente del portafolio las pérdidas se van agregando siguiendo una aritmética apropiada para el tratamiento de las funciones de densidad de probabilidad asociadas a los eventos y la vulnerabilidad, lo que permite desarrollar la curva de probabilidad de excedencia de pérdidas respectivas.

Las principales medidas del riesgo en términos económicos se describen a continuación:

- *Pérdida Anual Esperada:* La PAE se calcula como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para determinado evento y la frecuencia de ocurrencia de dicho evento en un período de un año y para todos los eventos estocásticos considerados. En términos probabilistas, la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual.
- *Prima Pura de Riesgo:* La PPR corresponde al valor de la PAE dividido por el valor de reposición del activo. Indica el costo que debe ser pagado anualmente para cubrir las pérdidas esperadas en el 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. Por ello, 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. Un ejemplo hipotético se ilustra en la figura 5. Con un prima de 0.15 al millar se cubren a largo plazo todas las pérdidas futuras (Ordaz y Santa-Cruz, 2003).

182 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**



**Figura 5.** Pérdidas por eventos pequeños y grandes en un prolongado lapso de tiempo.

- *Curva de Excedencia de Pérdidas:* La CEP representa la frecuencia anual con que determinada pérdida económica será excedida. Es la medida más importante y robusta del riesgo, dado que brinda la información básica para la planeación y destinación de recursos necesarios con el fin de cumplir con objetivos de gestión particulares. La CEP se puede calcular a partir del mayor evento probable en un año o de manera uniforme para todos los eventos posibles, en función de su período de retorno. Generalmente se prefiere el segundo enfoque, dado que permite considerar más de un evento catastrófico al año.
- *Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss):* La PMP (o PML en inglés) representa un valor de pérdida para un nivel de excedencia determinada. Dependiendo de la capacidad de un país, región o entidad para la gestión del riesgo, se puede optar por intervenir las pérdidas potenciales hasta determinado período de retorno que se considere apropiado.

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 coaseguramiento.

El objetivo general del modelo es calcular el nivel general de exposición de un grupo de edificaciones, 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 (Probable Maximum Loss o PML) de todo el grupo de edificaciones.

Para el análisis se emplearon valores promedio de porcentajes de retención, límites máximos asegurados, deducibles y coaseguros según se indica a continuación (Marulanda, 2009):

- Porcentaje de Retención: 100%
- Límite máximo: 100%
- Deducible: 0%, 1,5% y 3% del valor “asegurado” o límite (Avalúo Catastral)
- Coaseguro: 0%

### **3. IMPLEMENTACIÓN DE LA INICIATIVA DE TRANSFERENCIA DEL RIESGO.**

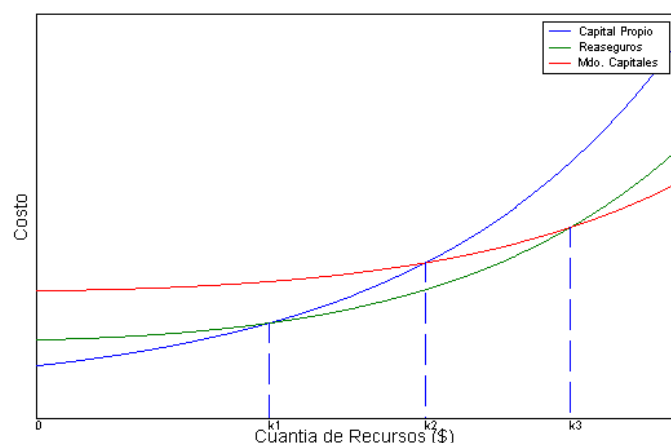
Los desastres extremos están caracterizados por la ocurrencia de fenómenos de baja frecuencia / alta severidad, además, por la dificultad de predecir el momento y lugar de su

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 and Mahul 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 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 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 de catástrofe. El problema de optimización que se enfrenta es similar al que se presenta en la figura 6.

En esta figura se representan gráficamente los costos de cada una de las fuentes de financiación de las cuales dispone el Estado para cubrir los riesgos por desastre. Se observa en esta gráfica 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 (Banks, 2004, Marulanda et al 2008<sup>a</sup>, Cardona 2009).

Como se mencionó previamente, varios actores están involucrados: personas con capacidad económica media-alta, personas con baja o muy baja capacidad económica y el gobierno como la entidad corresponsable de las pérdidas de los estratos sociales menos favorecidos. De acuerdo a esto, las alternativas de transferencia y retención del riesgo de los edificios privados deben considerar la interacción entre los diferentes actores. Así como deben estar orientadas a la capacidad, condiciones y voluntad del gobierno para buscar incentivos atractivos para la mayoría de los propietarios.



**Figura 6.** Costo financiero de los instrumentos de retención y transferencia.

184 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**

En Manizales se propuso la estructura de capas debido a que se desea explorar la manera de lograr el mayor cubrimiento de aseguramiento de edificios privados incluyendo a las propiedades de los estratos socio-económicos menos favorecidos. Por lo tanto, con el propósito de definir la mejor estrategia de protección financiera de los edificaciones privadas de la ciudad, y teniendo en cuenta los diferentes análisis, alternativas y recomendaciones de protección financiera, se seleccionaron y consideraron una serie de opciones como las más apropiadas y factibles para la administración pública de la ciudad, la secretaría de hacienda, la secretaría jurídica y la OMPAD de Manizales.

Como se mencionó previamente, el análisis de los edificios privados de la ciudad incluye un total de 85.816 predios, subdivididos en 3 portafolios. Con base en los estudios de riesgo realizados para parámetros escogidos y para los diferentes deducibles y después de un análisis de las alternativas propuestas se determinó que el mejor escenario para la estructura de retención y transferencia del riesgo hace referencia al modelo con un 3% de deducible del valor asegurado (Marulanda *et al*, 2009). En la tabla 2 se presentan los resultados para los diferentes portafolios para el escenario óptimo. La figura 7 presenta la estructura de retención, transferencia y financiamiento del riesgo de las edificaciones privadas de la ciudad con base en las pérdidas probables estimadas.

**Tabla 2.** Results of the seismic risk analysis for private buildings with 3% of deductible (US\$ 1: Col\$ 2.000).

DEDUCIBLE 3%										
ASPECTO		INMUEBLES PRIVADOS								
		EXENTOS			NO EXENTOS			TOTAL		
Número de inmuebles		15.342			70.474			85.816		
Valor asegurable estimado (Mill Col\$)		98.237			3.795.575			3.893.812		
Valor asegurado, valor catastral (Mill Col\$)		78.590			3.036.460			3.115.050		
Prima Pura Promedio		Mill Col\$	% aseg.	% catastral	Mill Col\$	% aseg.	% catastral	Mill Col\$	% aseg.	% catastral
		56	0,59	0,741	5.736	1,561	1,963	5.792	1,537	1,932
PML	Periodo de retorno	Mill Col\$.	% aseg.	% catastral	Mill Col\$.	% aseg.	% catastral	Mill Col\$.	% aseg.	% catastral
	100 años	1.115	1,42	1,42	94.430	3,03	3,03	93.140	2,99	2,99
	500 años	4.311	5,48	5,48	262.48	8,44	8,43	260.003	8,36	8,35
	1000 años	5.935	7,55	7,55	361.17	11,64	11,59	357.831	11,54	11,49
	1500 años	7.142	9,1	9,09	427.53	13,81	13,72	423.771	13,68	13,6
Pérdida esperada (%)		20.834	27,23	26,51	928.88	30,58	29,72	923.351	30,5	29,64

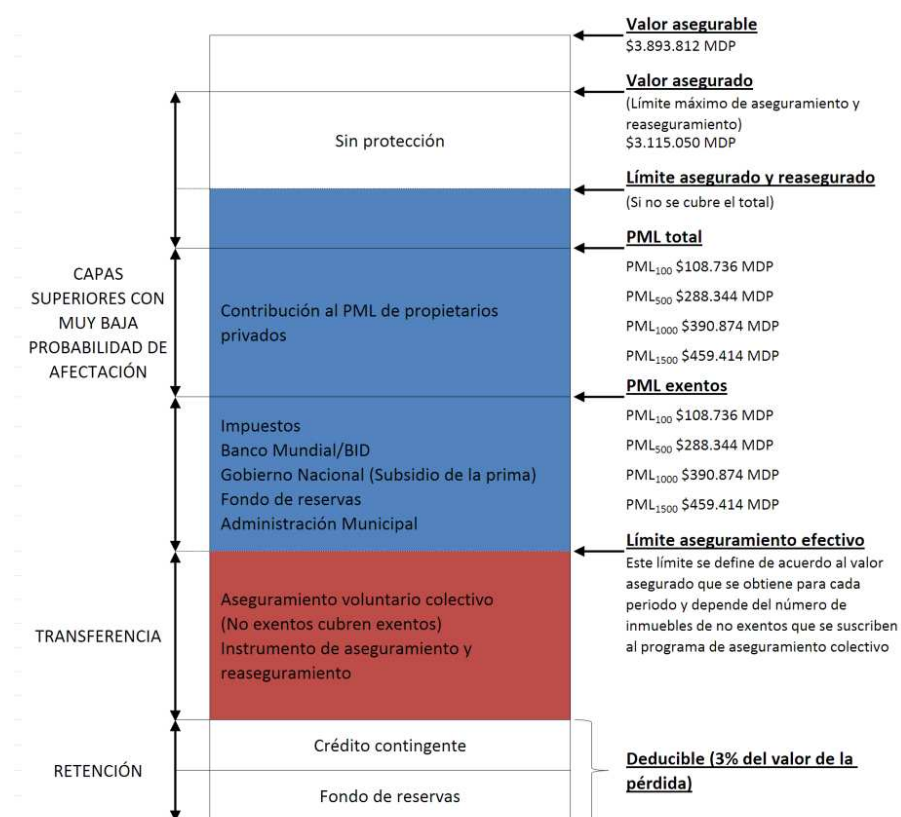


Figura 7. Estructura de retención y transferencia con 3% deducible (US\$ 1 millón: Col\$ 2.000 MDP).

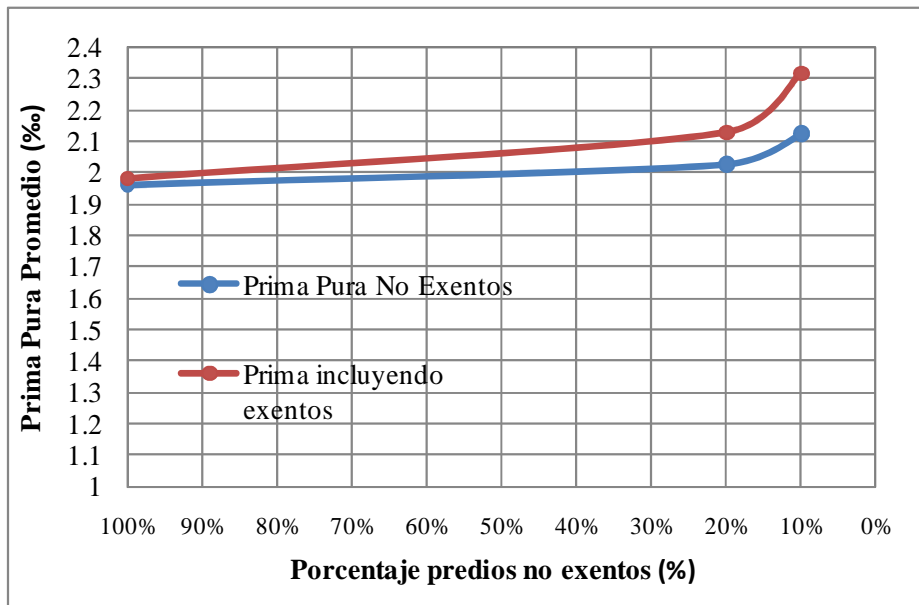
El valor promedio de prima pura para todos los inmuebles de Manizales, con un deducible de 3% es de 1.93‰, lo que equivale a 5.803 millones de pesos. Teniendo en cuenta que la prima de seguros incluye otros gastos (costo del reaseguro, gastos administrativos, utilidad de la compañía, etc.) el aseguramiento 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 1.96‰, 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 de los inmuebles privados de la ciudad, lo que se hará referencia más adelante.

Para cubrir los edificios exentos es necesario que los propietarios no exentos del impuesto predial cubran (subsiden) 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. La Tabla 3 y Figura 8 ilustran 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).

**Tabla 3.** Variación de la prima de los no exentos que suscriben el seguro, cubriendo a los exentos.

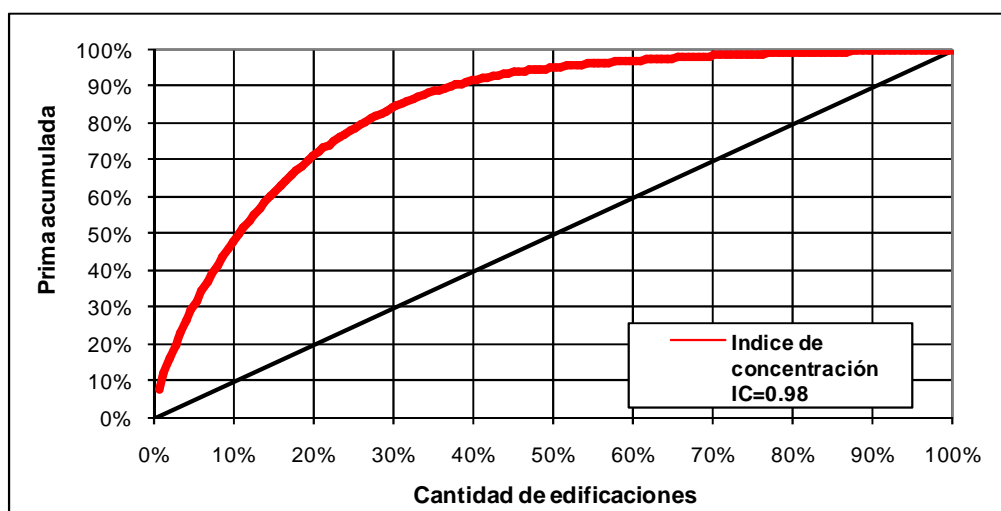
Porcentaje Asegurado	No Exentos		Prima pura		Exentos	Incluyendo Exentos	
	Valor Asegurable (MDP)	Valor Asegurado (MDP)	(\$MDP)	(‰ Catastral)	Prima pura (\$MDP)	Prima pura	
						(\$MDP)	(‰ Catastral)
100	3,795,575	3,036,460	5,736	1.96	56	5,792	1.98
20	718,886	575,109	1,122	2.03	56	1,178	2.13
10	375,882	300,706	614	2.12	56	670	2.32



**Figura 8.** 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 aumenta en un 10% para el portafolio en relación con el pago de la prima pura sin incluir los estratos menos favorecidos dado que la prima pura 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, lo que significa un aumento de cerca del 5%. 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 prima capa de las pérdidas que se presenten en caso de desastre (Marulanda, 2009).

En la Figura 9 se presenta la curva de concentración del valor asegurable de la cartera de inmuebles No Exentos con respecto al número de predios (que se expresa como un porcentaje de los 70,345 predios). Se hace un análisis de Pareto y se observa sólo se requiere de la participación de un número menor de los predios de mayor valor del portafolio (menos del 1%), por lo tanto el panorama para el municipio es muy optimista ya que resulta muy probable que los predios No Exentos contribuyan a financiar la prima pura de los predios Exentos.



**Figura 9.** Curva de concentración del valor asegurado según número de predios para la cartera de predios No Exentos

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. La compañía aseguradora emitió una póliza matriz, cuyo tomador es el Municipio de Manizales, 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.

El acuerdo inicial con la compañía de seguros consistió en que el aseguramiento total de los inmuebles de los exentos del impuesto predial se alcanzaba cuando el 20% de los valores asegurables del portafolio de los predios que están obligados a pagar el impuesto predial unificado participaban en el programa con el pago de la prima de seguro que les corresponde. Si no se conseguía dicho porcentaje se cubría parcialmente a los inmuebles exentos; mediante una tabla de rangos se definía el nivel de protección de acuerdo a la participación alcanzada en la ciudad. Sin embargo, dado que el nivel de participación en el pago del seguro 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. Este acuerdo es el resultado de la solicitud del consejo de la ciudad después de ver el porcentaje de participación en el programa.

#### 4. CONCLUSIONES

La posibilidad de cubrir los estratos socio-económicos más pobres de la población y el promover, en general, la cultura del seguro en la ciudad son objetivos de especial interés de administración municipal, cuya responsabilidad es el recaudo de las primas. 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. Este instrumento de protección financiera se perfeccionó con base en los estudios técnicos y científicos de amenaza y riesgo sísmico que la OMPAD ha promovido desde años atrás y sin los cuales no sería posible. Con base en estos estudios se diseñó el esquema que permite hoy cubrir todos los predios exentos con bases técnicas y financieras robustas.



Esta iniciativa es principalmente un beneficio social promovido por el gobierno local, que adicionalmente y cuando sea factible, puede ser apoyado por el gobierno nacional en diferentes lugares del país. La relación beneficio-costos es clara desde el punto de vista de la sostenibilidad, prevención, bienestar socio-económico, protección financiera y macroeconómica y responsabilidades contingentes. Está basado en estudios técnicos hechos con modelos de riesgo robustos, pero los elementos más importantes de esta iniciativa son la voluntad política, la gobernabilidad, la solidaridad ciudadana y la percepción del riesgo de la sociedad y los líderes o empleados del gobierno. Este instrumento innovador de protección financiera implementado en Manizales que se ha mejorado con estudios cuidadosos de carácter técnico-científico y actuarial, sin ninguna duda constituye una experiencia exitosa y es una buena práctica promovida entre el gobierno local y el sector privado que podría ser replicada en otras ciudades del país como Bogotá y en general en otros países en desarrollo propensos a desastres si se realizan estudios apropiados de riesgo para su implementación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este instrumento operativo para la protección financiera implementado en Manizales se ha desarrollado con el soporte económico e institucional del Departamento Nacional de Planeación de Colombia (DNP), el Banco Mundial, la alcaldía de Manizales y ECOPOLIS Becas de Proyectos de Investigación y Diseño lanzado en 2007 por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) de Canadá. Adicionalmente, los autores expresan su gratitud al soporte técnico del Profesor Luis E. Yamin de la Universidad de Los Andes y al Profesor Mario G. Ordaz de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

## **REFERENCIAS**

1. Andersen, T. (2002). Innovative Financial Instruments for Natural Disaster Risk Management. Inter-American Development Bank. Sustainable Development Department. Technical Papers Series.ENV-140.
2. Cardona, O.D. (2009). *La Gestión Financiera del Riesgo de Desastres: Instrumentos Financieros de Retención y Transferencia para la Comunidad Andina*, PREDECAN, ISBN: 978-9972-787-79-9, Comunidad Andina, Lima. Cardona, O.D.; Ordaz, M.G.; Moreno, A.M. & Yamín, L.E. (2004). *Análisis de riesgo de desastres extremos en Colombia con fines de valoración de la exposición fiscal*, 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.
3. Cardona, O.D; Lavell, A.M; Mansilla, E.; Moreno, A.M. (2005b) *Avances en las estrategias de desarrollo institucional y sostenibilidad financiera de la gestión del riesgo de desastres en América latina y el Caribe*. BID, Diálogo Regional de Política sobre Prevención de Desastres. Washington.
4. Cardona, O.D.; Ordaz, M.G.; Moreno, A.M. & Yamín, L.E. (2005a). *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.

5. Cardona, O.D., Ordaz, M.G., Marulanda, M.C., & Barbat, A.H. (2008a). Estimation of Probabilistic Seismic Losses and the Public Economic Resilience—An Approach for a Macroeconomic Impact Evaluation, *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (S2) 60-70, ISSN: 1363-2469 print / 1559-808X online, Taylor & Francis, Philadelphia, PA.
6. Cardona, O.D., Ordaz, M.G., Marulanda, M.C., Barbat, A.H. (2008c). Fiscal Impact of future earthquakes and country's economic resilience evaluation using the disaster deficit index, *Innovation Practice Safety: Proceedings 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China*.
7. Cardona, O.D., Ordaz, M.G., Yamin, L.E., Arámbula, S., Marulanda, M.C., Barbat, A.H. (2008d). Probabilistic seismic risk assessment for comprehensive risk management: modeling for innovative risk transfer and loss financing mechanisms, *Innovation Practice Safety: Proceedings 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China*.
8. Cardona, O.D., Ordaz, M.G., Yamín, L.E., Marulanda, M.C., & Barbat, A.H. (2008b). Earthquake Loss Assessment for Integrated Disaster Risk Management, *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (S2) January 48-59, ISSN: 1363-2469 print / 1559-808X online, Taylor & Francis, Philadelphia, PA.
9. Cummins, J.D., Mahul, O. (2008). *Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention*. The World Bank, Washington.
10. Freeman, P., Keen, M and Muthukumara, M. (2003). Dealing with Increased Risk of Natural Disasters: Challenges and Options. IMF – International Monetary Fund. Working Paper 03/197.
11. Grossi P. & Kunreuther H. (2005). *Catastrophe modeling: A new approach to managing risk*, Springer Science.
12. ITEC (2004). "Sistema de Información Sísmica de Manizales – SISMan", Municipio de Manizales, Ingeniería Técnica y Científica Ltda, ITEC Ltda.
13. Marulanda, M.C. (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 for IDRC Ecopolis Program of Grants, IDEA, CIMNE.
14. Marulanda, M.C., Cardona, O.D. & A. H. Barbat, (2008b). "The Economic and Social Effects of Small Disasters: Revision of the Local Disaster Index and the Case Study of Colombia", in *Megacities: Resilience and Social Vulnerability*, Bohle, H.G., Warner, K. (Eds.), SOURCE No. 10, United Nations University (EHS), Munich Re Foundation, Bonn.
15. Marulanda, M.C., Cardona, O.D. & A. H. Barbat, (2010). "Revealing the Impact of Small Disasters to the Economic and Social Development", in *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security - Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks*, Editors: H.G. Brauch, U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, J. Birkmann: Springer-Verlag, Berlin - New York.
16. Marulanda, M.C., Cardona, O.D., Barbat, A.H. (2009). Revealing the socio-economic impact of small disasters in Colombia using DesInventar database, *Disasters*, December 11/2009; 34(2): 552–570, Overseas Development Institute, Blackwell Publishing, Oxford.
17. Marulanda, M.C., Cardona, O.D., Ordaz, M.G., Barbat, A.H. (2008). *La gestión financiera del riesgo desde la perspectiva de los desastres: Evaluación de la exposición fiscal de los*

190 **Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material.**

*Estados y alternativas de instrumentos financieros de retención y transferencia del riesgo.* Monografía CIMNE IS-61, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

18. Pollner, J. (2001). Managing Catastrophic Disaster Risks Using Alternative Risk Financing and Pooled Insurance Structures. World Bank Technical Paper, No. 495.
19. Vargas, E. (2002). Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales, CEPAL.
20. Woo, G. (1999): *The Mathematics of Natural Catastrophes*, Imperial College Press. Yamin, L.E., Gallego, M., Cardona, O.D., Phillips, C.A. (2004). "Recent Advances in Seismic Microzonation Studies, The Manizales-Colombia Case", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.