

# RETENCIÓN Y TRANSFERENCIA DE RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA

**Omar D. Cardona<sup>1</sup>, Luis E. Yamín<sup>2</sup>, Santiago Arámbula<sup>3</sup> y Luis F. Molina<sup>3</sup>**

## Resumen

A pesar de la considerable investigación que se ha desarrollado a nivel internacional en relación con los impactos a largo plazo de los desastres en el desarrollo sostenible, la incorporación formal del riesgo de desastre en el proceso nacional de planificación es todavía incipiente. Debido a la ausencia de una adecuada política gubernamental de retención y transferencia para cubrir posibles pérdidas por terremoto en el país, este artículo presenta una reflexión sobre las posibilidades de mejorar la eficiencia mediante herramientas técnico-científicas y financieras apropiadas. Se presenta una descripción resumida de un modelo avanzado para estimar de manera más confiable el riesgo sísmico y las pérdidas por terremoto y un resumen de resultados de dos análisis realizados con muestras de inmuebles públicos de Manizales y Bogotá a través de los cuales se demuestra la posibilidad de explorar estrategias eficientes de retención y transferencia de pérdidas desde un punto de vista financiero, lo que demuestra la posibilidad de hacer rentable la gestión integral de riesgos en el país.

## Abstract

In spite of the considerable amount of research made worldwide on relation to the disaster long-time impacts in the sustainable development, the formal inclusion of such disaster risk on the national budget planning process is still very precarious. Given the lack of an adequate governmental policy of retention and transfer of earthquake losses in the country, this paper presents ideas about the possibilities to improve the efficiency using modern scientific techniques from the risk management and financial point of view. A brief description on a advanced and reliable model to seismic risk and loss estimation is presented. Also, is presented a summary of the outcomes of two analyses made with groups of public buildings of Manizales and Bogotá, that proves the current possibility to explore efficient strategies of financial loss retention and transfer. This is an example how is possible to get a profitable integrated risk management en the country.

**Palabras clave:** gestión de riesgos, mitigación, planificación, prima pura, retención, riesgo sísmico, transferencia.

## INTRODUCCIÓN

Aunque el país incluye partidas presupuestales para la asistencia en caso de desastre y cuenta con un Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, a través del cual se hacen esfuerzos para orientar recursos hacia algunas actividades de planificación referidas a la mitigación del riesgo, en realidad Colombia no planifica ni prevé, con bases técnicas sólidas, las pérdidas esperadas por fenómenos naturales como un componente permanente de su proceso presupuestario, y como consecuencia, las políticas encaminadas hacia la reducción del riesgo a través de la incorporación de la prevención en la cultura no reciben la atención que requieren. La falta de estimaciones probabilísticas del riesgo tiene serias implicaciones. El no contar con modelos refinados que permitan estimar adecuadamente las pérdidas futuras hace que no se planifique el costo de las reconstrucciones en forma anticipada y, por lo tanto, se pierde el principal incentivo para promover la mitigación y prevención. Para reducir el riesgo se necesitan invertir en estudios y acciones que permitan orientar la manera de reducir los daños futuros de los fenómenos peligrosos. Si los futuros daños no se estiman ni se tienen en cuenta como parte del proceso de planificación actual, es casi imposible mantener recursos presupuestarios para reducir

---

<sup>1</sup> Presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. Profesor e Investigador del Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos, CEDERI, Universidad de los Andes. ocardona@uniandes.edu.co

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Universidad de Los Andes, Director Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico, CITEC. Bogotá, Colombia. lyamin@uniandes.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniero Investigador, Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico, CITEC, Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia. sarambul@uniandes.edu.co, lui-moli@uniandes.edu.co

los mencionados daños potenciales. El Estado debería contar con una adecuada y eficiente estrategia de evaluación del riesgo, con el fin de determinar qué pérdidas debería retener y/o transferir en términos financieros. Aquí se presenta un modelo avanzado de evaluación del riesgo sísmico que actualmente utilizan varias compañías de seguros en el país y que, igualmente, podría utilizar el Estado para efectos de protección económica. Se presentan algunos resultados de un estudio financiado por el Banco Mundial y Planeación Nacional, que demuestran la importancia de realizar estudios cuidadosos que permitan formular estrategias eficientes de retención y transferencia de riesgo.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE RIESGO SÍSMICO

En este modelo de riesgo sísmico la amenaza se cuantifica en términos de los periodos de retorno de intensidades sísmicas relevantes en el comportamiento de las estructuras. La tasa de excedencia de una intensidad sísmica se define como el número medio de veces, por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedido. La determinación directa rara vez se puede hacer porque no se dispone de catálogos completos de las aceleraciones que han producido en un sitio los sismos pasados. Por lo tanto en este como en otros casos es necesario calcular la amenaza de manera indirecta. Para ello, se evalúa primero la tasa de actividad sísmica en las fuentes generadoras de temblores y después se integran los efectos que producen, en un sitio dado, los sismos que se generan en la totalidad de las fuentes. Se describe a continuación el proceso.

### Tectónica Colombiana

En el caso de Colombia las zonas más activas sísmicamente hablando están localizadas en la región andina, dominada por tres cordilleras, occidental, oriental y central. Han sido localizadas zonas de Benniof en el ambiente de Subducción, las cuales han sido identificadas mediante la ubicación de los hipocentros, esto ha llevado a establecer que dichas zonas son más superficiales mientras más al norte se encuentren, y más profundas mientras más al sur, esto involucra necesariamente un cambio en buzamiento de las zonas subducidas.

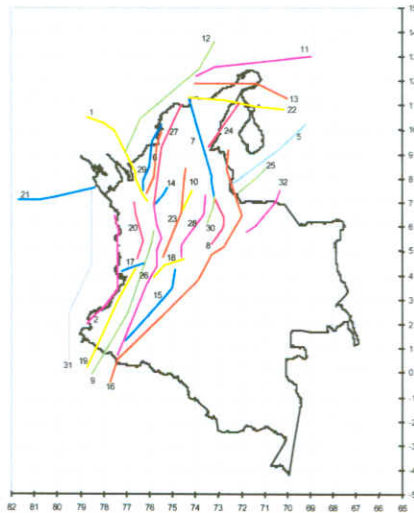


Figura 1: Distribución de fuentes sísmicas.

Además de Subducción existen en el territorio una serie de fallas geológicas activas, las cuales se encuentran limitadas por la zona de Subducción y la falla Frontal de la Cordillera Oriental. La mayor parte de estas fallas tienen dirección N-S, las que revisten mayor importancia son la Romeral y la Frontal. Con base en la información tectónica y sismológica el estudio de amenaza sísmica de Colombia (AIS, 1996) realizó un análisis para determinar los parámetros más relevantes tales como, frecuencia de sismos  $\lambda$ , pendiente de regresión beta  $\beta$ , y magnitudes máximas  $M_u$ , y mínimas  $M_o$  de cada falla. En todos los casos se usó una base de datos correspondiente al lapso entre los años de 1957 a 1995.

El Estudio (AIS, 1996), realizó los análisis de regresión los parámetros de sismicidad para cada fuente y propuso los valores para 32 fuentes reconocidas como activas en el territorio nacional.

## Modelos de la sismicidad local

Empleando un modelo de sismicidad de Poisson la actividad de la  $i$ -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes,  $\lambda_i(M)$ , que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan, en una fuente, temblores con magnitud superior a una dada. 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:

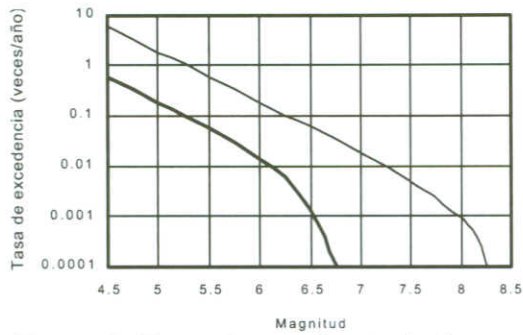


Figura 2: Tasas de excedencia de fuentes.

valor de  $M_u$ , la máxima magnitud que puede generarse en cada fuente. En la Figura 2 se muestran dos tasas de excedencia para zonas sísmicas distintas, una para una zona de alta sismicidad capaz de generar sismos con  $M > 8$  y otra de baja sismicidad.

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad (1)$$

donde  $M_0$  es la mínima magnitud relevante.  $\lambda_0$ ,  $\beta$ , y  $M_u$  son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas. Estos parámetros, diferentes para cada fuente, se estiman por procedimientos estadísticos bayesianos, que incluyen información sobre regiones tectónicamente similares a las del país, más información experta, especialmente sobre el

## Atenuación de las ondas sísmicas

Se utilizan leyes de atenuación espectrales que toman en cuenta el hecho de que la atenuación es diferente para ondas de diferentes frecuencias, por lo que se tienen parámetros de atenuación diferentes para cada periodo de vibración considerado. Estas leyes fueron deducidas especialmente para Colombia en Gallego y Ordaz (1999) y están basadas en el cálculo de espectros fuentes, los valores extremos son hallados mediante teoría de vibraciones aleatorias. En dicho estudio se determinaron dos leyes, la “activa” para fallas continentales y la “subducción” para fallas de subducción, que se presentan en la Figura 3:

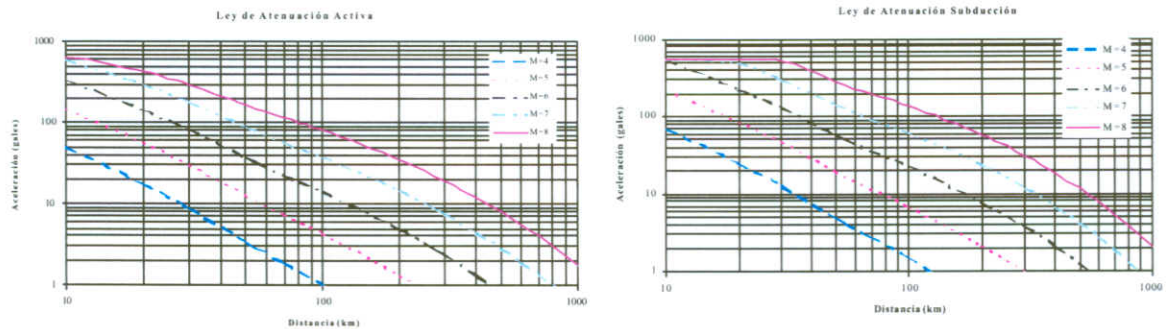


Figura 3: Leyes de atenuación de aceleración máxima del suelo para diferentes tipos de mecanismo focal.

## Efectos de la geología local

El efecto del tipo de suelo sobre la amplitud y la naturaleza de las ondas sísmicas ha sido reconocido desde hace mucho tiempo como crucial en la estimación de la amenaza sísmica. El

tratamiento consiste en hallar funciones de transferencia, mediante diversas técnicas con el fin de multiplicar estas por los espectros fuentes hallados previamente, para así obtener el espectro fuente representativo del sitio con efectos locales. En la Figura 4 se presenta la función de transferencia en un sitio muy blando de la sabana de Bogotá calculada mediante el método lineal equivalente.

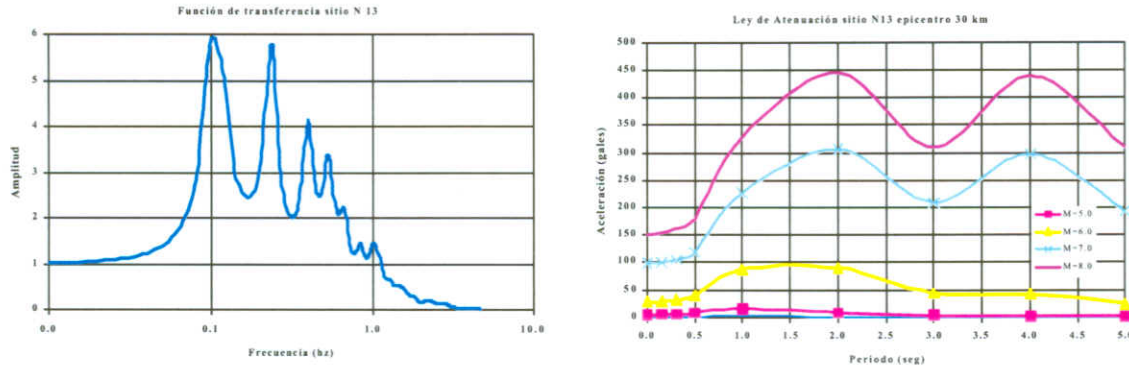


Figura 4: izq.: Función de transferencia suelo blando; der.: Ley de atenuación para distancia epicentral de 30 Km.

### Cálculo de amenaza sísmica

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes, los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, y los efectos de la geología local, puede calcularse la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. La amenaza, expresada en términos de las tasas de excedencia de intensidades  $a$ , se calcula mediante la siguiente expresión:

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

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, la contribución de todas las magnitudes (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999). Esto es adecuado para el cálculo de la prima pura de seguro ya que interesa el daño que pueden provocar inclusive los sismos pequeños y medianos que se presentan más a menudo que los sismos grandes. Conviene hacer notar que la ecuación anterior sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. En realidad son volúmenes, por lo que se han subdividido las fuentes sísmicas en triángulos, en cuyo centro de gravedad se considera concentrada la sismicidad del triángulo. La subdivisión se hace hasta alcanzar un tamaño de triángulo suficientemente pequeño como para garantizar la precisión en la integración de la ecuación anterior. En vista de que se supone que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad tiene distribución lognormal, la probabilidad  $\Pr(A > a | M, R_i)$  se calcula de la siguiente manera:

$$\Pr(A > a | M, Ro) = \Phi \left( \frac{1}{\sigma_{Lna}} \ln \frac{E(A | M, R_i)}{a} \right) \quad (3)$$

siendo  $\Phi(\cdot)$  la distribución normal estándar,  $E(A | M, R_i)$  el valor medio del logaritmo de la intensidad (dado por la ley de atenuación) y  $\sigma_{Lna}$  su correspondiente desviación estándar.